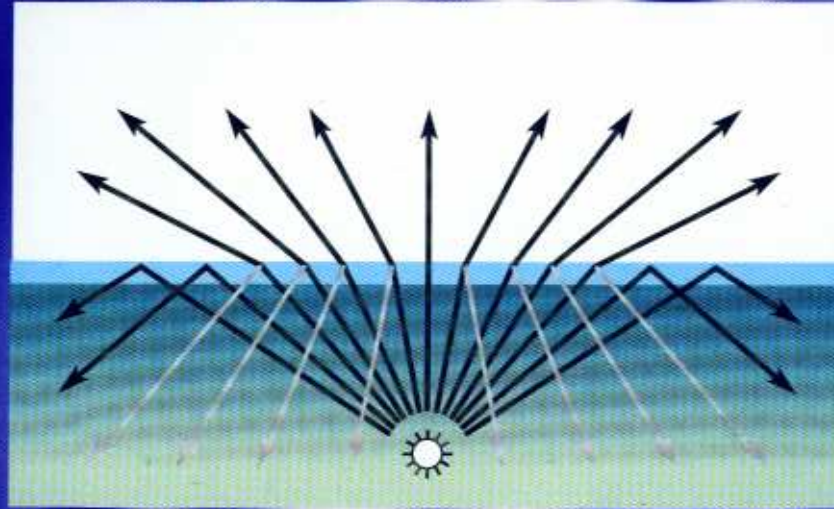


# प्रकाश - विज्ञान

भाग 9

भौमितिक प्रकाश



राजीव वर्तक



वसुंधरा ट्रस्ट प्रकाशन

# प्रकाश - विज्ञान

भाग - १

भौमतिक प्रकाश

राजीव वर्तक



वसुंधरा ट्रस्ट प्रकाशन

प्रकाश - विज्ञान (Prakash - Vidnyan)

भाग-१

(भौमितिक - प्रकाश)

© वसुंधरा ट्रस्ट प्रकाशन

द्वारा - वसुंधरा पब्लिक चॅरिटेबल ट्रस्ट,

अ-६ शकुन, शहाजी राजे मार्ग,

विले-पार्ले (पू.)

मुंबई - ४०० ०५७.

मुद्रक :-

इन्स्टा प्रिन्ट प्रा. लि.

गणेश कुटीर, प्रार्थना समाज रोड,

विलेपार्ले, मुंबई-४०० ०५७.

फोन : २६१४६७९० / २६१७४०८७

प्रकाशन दिनांक : २८ फेब्रुवारी २००४

किंमत रु. २०/-

## प्रस्तावना

वसुंधरा-ग्रामीण पुनर्रचना व शैक्षणिक प्रकल्पातर्फे गेली ६ वर्षे विज्ञान, तंत्रज्ञान, गणित व भूगोल या विषयांतील अध्ययन - अध्यापनाचा दर्जा उंचावण्यासाठी अनेक उपक्रम घेतले जातात. वसुंधराच्या फिरते ज्ञान-विज्ञान (Science on Wheels) या उपक्रमाद्वारे हे उपक्रम सिंधुदुर्ग जिल्ह्यातील ६० माध्यमिक शाळांमध्ये वर्षातून दोन वेळा घेतले जातात. विद्यार्थ्यांना स्वतः शोधून शिकण्यासाठी अनेक सोप्या प्रयोगांतून उद्युक्त केले जाते. यामुळे विद्यार्थी स्वतः शिकण्याच्या प्रक्रियेतून जातो. त्यामुळे तो स्वतःची परिकल्पना (hypothesis) करतो, ती तपासण्यासाठी प्रयोग रचतो. थोडक्यात वैज्ञानिक पद्धती तो अनुभवतो. त्याच्या विज्ञान-विषयक कौशल्यांचा विकास होतो आणि एखाद्या तत्त्वाचा, नियमाचा, केलेला प्रयोग किंवा निरीक्षणाचा नेमका बोध घ्यायची त्याची क्षमता वाढते.

या उपक्रमाला बऱ्याच ठिकाणाहून मागणी आहे. सिंधुदुर्गातील व जिल्ह्याबाहेरील बऱ्याच शाळा व संस्था यांना फिरते ज्ञान विज्ञान उपक्रम आपल्या शाळेत न्यायचा आहे. पण संस्थेचे आर्थिक बळ, मनुष्यबळ व या आधी ठरवलेल्या नियमित शाळा बघता हे कठीण वाटते. पसारा वाढवल्यास दर्जा घसरण्याची भीतीही आहेच. संस्थेकडे विकसीत झालेल्या अनेक अध्ययन - अध्यापन प्रक्रिया व प्रयोग सर्वापर्यंत जाणेही गरजेचे आहे. वसुंधराचे काम पुस्तकरूपाने पुढे आल्यास हे उपक्रम व प्रयोग सर्वांसाठी नेता येतील हा विश्वास वाटतो. सदर पुस्तक हे या मालिकेतील पहिले पुस्तक. बँक ऑफ इंडियाने केलेल्या आर्थिक मदतीमुळे या पुस्तकाची छपाई सोपी झाली. अशी १० पुस्तके सध्या प्रस्तावित आहेत. त्यांच्या छपाईसाठी आर्थिक मदत मिळाल्यास हे काम लवकरच होईल.

सी.बी.नाईक

कार्यकारी विश्वस्त

## लेखकाचे मनोगत

प्रकाश या विषयावर मुलांबरोबर अभ्यास करताना पेरीस्कोप बनवणे, कॅलिडोस्कोप बनवणे इ. प्रयोग फारतर होत असत. एखाद्या छोट्या विज्ञान-शिबिरासाठी ते ठीक होत. प्रकाशाचा समजून-उमजून अभ्यास शालेय वयातच होण्याची गरज होती. त्यातही या अभ्यासातून वैज्ञानिक पद्धती व वैज्ञानिक कौशल्यांचा विकास व्हायला हवा हे जाणवत होते. नुसतेच प्रकाशाविषयीची तत्वे देण्यात अर्थही नव्हता. वैज्ञानिक पद्धतीची ओळख, वैज्ञानिक कौशल्यांचा विकास आणि मूळ तत्त्व समजावून घेणे, कारणमीमांसा शोधणे या सर्वांसाठी प्रकाश हा अतिशय सहजसोपा असा घटक वाटला. यातील सर्व प्रयोगांचा विद्यार्थ्यांबरोबर अनुभव घेण्याची मोठीच संधी मला व माझ्या सहकाऱ्यांना होती. विद्यार्थ्यांची संख्याही थोडी-थोडकी नसून ५००० पेक्षा जास्त आहे. तेव्हा थोडी चिकाटी दाखवून सर्व प्रयोग व त्यानंतरचा विचार (आधी माहित असणाऱ्या तत्वांशी सहसंबंध लावण्याचा प्रयत्न) केल्यास परावर्तन, गोलिय आरशातून परावर्तन, अपवर्तन हा भाग निश्चितपणे समजेल. हे करताना प्रत्यक्ष वैज्ञानिक पद्धतीतून विद्यार्थी जाईल.

शाळेच्या रोजच्या शिकवण्यात उपयुक्त असे हे प्रयोग असल्याने शालेय पातळीवर 'प्रकाश' शिकवण्याची शिक्षकांची हस्तपुस्तिका असेही पुस्तकाचे स्वरूप आहे.

या पुस्तकातील काही प्रयोग हे याकोव्ह पॅरलमनच्या Physics for Entertainment अमेरिकन फिजिक्स टिचर्स असोसिएशनच्या String & Sticky-tape Experiments या पुस्तकातून घेतलेले आहेत तर काही प्रयोग मुलांबरोबर काम करताना विकसीत झालेले आहेत. हे पुस्तक प्रकाशाच्या अभ्यासाची पूर्वतयारी म्हणून लिहिलेले आहे. ज्यांना अधिक अभ्यास करायचा असेल त्यांनी रिचर्ड फेनमनचे Lectures on Physics व रेझनीक व हॅलीडे यांची पाठ्यपुस्तके अभ्यासावीत. या पुस्तकाचे दोन भाग केले असून भाग-१ हा (परावर्तन व अपवर्तन) प्रामुख्याने भौमितिक प्रकाशाचा भाग आहे. भाग-२ मध्ये प्रकाशिय उपकरणे व प्रकाशाचे भौतिक स्वरूप असणार आहे.

हे पुस्तक लिहिताना वसुंधरा संस्थेतील सर्व सहकारी विशेषतः ज्योती प्रभू, मुंबईतील सर्व सहकारी व मित्र यांची मदत झाली आहे. त्यांच्या मदतीशिवाय व पुस्तक निर्मितीसाठी सातत्याने मागे लागणारे श्री.सी.बी.नाईक यांच्या धडपडीशिवाय हे पुस्तक या स्वरूपात आणणे केवळ कठीण होते.

राजीव वर्तक

## अनुक्रमणिका

- परावर्तनावर आधारित प्रयोग ..... ७
- अपवर्तनावर आधारित प्रयोग ..... २०
- किरणाकृती ..... ३६
- अपवर्तनाचे मोजमाप ..... ५१

- पुस्तकाबद्दलची आपली मते व सूचना वसुंधरा संस्थेकडे जरूर पाठवा. त्यांचे स्वागतच केले जाईल.

## संस्थेचे विविध उपक्रम

१. सिंधुदुर्ग जिल्ह्यातील प्राथमिक व माध्यमिक शाळांसाठी 'विज्ञानाची फिरती प्रयोग शाळा'.
२. सिंधुदुर्ग जिल्ह्यातील शिक्षकवर्गासाठी प्रशिक्षण शिबीरे.
३. सिंधुदुर्ग जिल्हा विज्ञान केंद्र, बिबवणे, ता. कुडाळ.
३. रविवारची विज्ञान शाळा.
४. विज्ञान मंडळ व विज्ञान शिबीरे.
५. विज्ञान मुल्य शिबीरे.
६. शाळांच्या स्पर्धा व चर्चासत्र.
७. कायम स्वरूपी प्रदर्शन.
८. सिंधुदुर्ग जिल्हा विज्ञान केंद्रावर शाळांच्या विज्ञान सहली.
९. माध्यमिक शालेय प्रज्ञावान विद्यार्थ्यांसाठी सिंधुदुर्ग प्रज्ञा शोध व संवर्धन उपक्रम (STSP) व राष्ट्रीय प्रज्ञा शोध (NS) वर्ग. शालांत परीक्षा गुणवत्ता उपक्रम.
१०. बालकांसाठी बाल दरबार - सावंतवाडी
११. पाणलोट क्षेत्र विकास - पाणी अडवा पाणी जिरवा.
१२. मुंबईतील तज्ज्ञ डॉक्टर्सची वैद्यकीय शिबीरे.

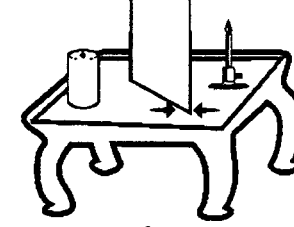
## १ परावर्तनावर आधारीत प्रयोग

### प्रयोग - 1

#### साहित्य :

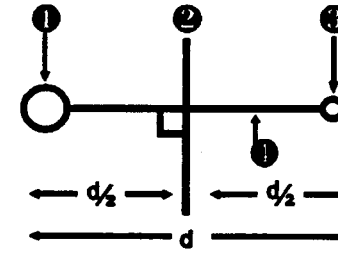
साधी काच (शक्य तेवढी पातळ, 2 mm किंवा फारतर 3 mm जाड, काचेचा पारदर्शक ग्लास किंवा बाटली, पाणी, लहान मेणबत्ती, माचीस, इ. (काच किमान 20 cm x 12 cm एवढ्या आकाराची असणे गरजेचे आहे.)

#### काय कराल :



आकृती 1 अ

एका टेबलावर एक साधी काच उभी ठेवा. काच टेबलाच्या पृष्ठभागाला लंब उभी ठेवण्यासाठी स्टँड वापरा. (किंवा दोन जड वस्तूनी काचेच्या तळाच्या एकाच कोपऱ्यात, सोबतच्या आकृतीत दाखवलेल्या बाणांप्रमाणे काचेच्या दोन्ही बाजूनी दाब द्या.) काचेच्या एका बाजूला पेटती मेणबत्ती (या मेणबत्तीची उंची काचेच्या उंचीच्या अर्धी असल्यास उत्तम) तर दुसऱ्या बाजूला पाणी भरलेले पारदर्शक काचेचे भांडे किंवा बाटली ठेवा. मेणबत्ती व पारदर्शक काचेच्या भांड्याचा मध्य सांधणाऱ्या रेषेचा, उभी काचही लंब-दुभाजक व्हायला हवी. म्हणजे वरून पाहिल्यास पाण्याचा ग्लास, काच व मेणबत्ती आ. 1 ब प्रमाणे दिसेल.



आकृती 1 ब

आ. 1 ब मध्ये मेणबत्ती व पाण्याचा ग्लास यांच्यातील अंतर 'd' असून त्यांना सांधणाऱ्या (त्यांच्या मध्यांना सांधणाऱ्या) रेषेला काच लंब आहे. ही काच मेणबत्ती व पाण्याच्या ग्लासच्या मध्यावर उभी आहे.

1. पाणी भरलेला ग्लास
2. उभी काच
3. मेणबत्ती
4. ग्लासचा मध्य व मेणबत्ती सांधणारी सरळ रेषा

आता मेणबत्तीच्या बाजूने, उभ्या काचेतून पाणी भरलेल्या ग्लास/बाटलीकडे

पाहा. मेणबत्ती पाण्यात जळताना दिसते. उभ्या काचेतून पलीकडे, कोणत्याही दिशेने ग्लासकडे पाहा. मेणबत्ती तरीदेखील ग्लासमध्ये जळताना दिसते.

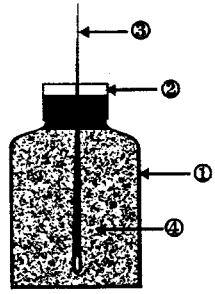
✳ मेणबत्ती पाण्यात जळताना का दिसते ? याचे वैज्ञानिक कारण सांगायचा प्रयत्न करा.

## प्रयोग - 2

साहित्य :

सपाट आरसा (शक्य तेवढा पातळ - 3 mm पेक्षा जाड नको.) त्याची किमान लांबी 10 cm व रुंदी 6 mm असायला हवी. दोन दाभणे, इंजेक्शनच्या लहान काचेच्या बाटल्या, थोडी वाळू, दाभण रंगवण्यापुरता पांढरा व लाल रंग किंवा पांढरी स्ट्रॉ व इतर रंगाची स्ट्रॉ.

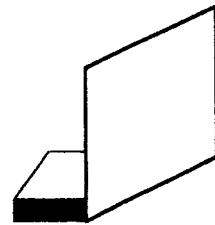
काय कराल :



आकृती 2 अ

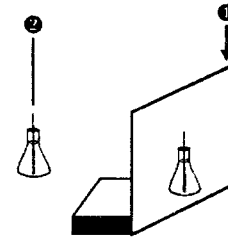
दोन मोठी दाभणे घ्या. एकाला पांढरा रंग द्या, तर दुसऱ्याला लाल. किंवा एका दाभणावर पांढरी स्ट्रॉ (गच्च बसेल अशी) बसवा, तर दुसऱ्यावर लाल. आकृती-2 अ मध्ये दाखवल्याप्रमाणे ही दाभणे, इंजेक्शनच्या लहान काचेच्या (रबरी झाकणाला छिद्र पाडून) बाटलीत बारीक वाळू गच्च भरून उभी राहतील अशी सोय करावी.

1. इंजेक्शनची काचेची बाटली
2. रबरी झाकण
3. दाभण
4. बाटलीत गच्च भरलेली वाळू



आकृती 2 ब

आरसा उभा करायला त्याच्या एका लांबीच्या बाजूने (आ.2 ब पाहा) एक वाळू भरलेली काड्यापेटी फेविकॉलने चिकटवा. (आरसा सरळ उभा राहिल याची काळजी घ्या.) आरसा मोठा असल्यास जास्त काड्यापेट्या चिकटवा. आपल्या प्रयोगाची पूर्वतयारी आता झाली.



आकृती 3 ब



टेबलावर आरसा सरळ उभा ठेवा. आरशाच्यासमोर (परावर्तनाच्या पृष्ठभागासमोर) पांढरे दाभण, तर आरशाच्या मागील बाजूला लाल दाभण उभे ठेवा. आता आरशात बघत पांढरे दाभण अशा ठिकाणी आणा की, आरशातील पांढऱ्या दाभणाच्या प्रतिमेवर अचूकपणे लाल दाभण

येईल. आरशात कुठूनही पाहिले असता पांढऱ्या दाभणाच्या प्रतिमेवर लाल दाभण अचूकपणे आणा.

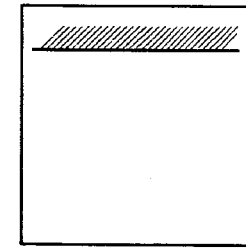
✳ पांढरे व लाल दाभण एकमेकांवर आहेत असे का वाटते ?

## प्रयोग - 3


साहित्य :

प्रयोग 2 मधील सपाट आरसा, 4 टाचण्या, ड्रॉइंग - कागद, ड्रॉइंग बोर्ड किंवा 9 mm जाडीचा थर्मोकोल व पुढा.

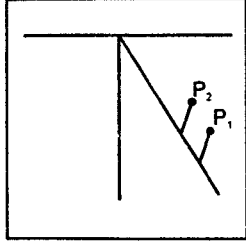
काय कराल :



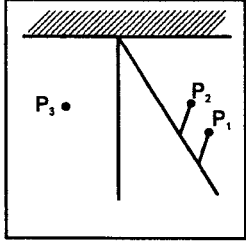
आकृती 3 अ

ड्रॉइंग बोर्ड नसल्यास, 30 cm x 20 cm आकाराच्या पुढ्यावर तेवढ्याच आकाराचा 9 mm जाडीचा थर्मोकोल फेविकॉलने चिकटवा. त्यावर एक त्याच आकाराचा ड्रॉइंग पेपर ठेवा व त्यावर आरसा उभा ठेवा. त्यासाठी आधीच्या प्रयोगात आपण सोय केली आहेच. आरसा ठेवण्याची जागा आकृती 3 अ मध्ये दाखवली आहे.  या खुणेने आरसा दाखवला जातो. त्यातील सरळ रेषा म्हणजे परावर्तनाचा पृष्ठभाग, तर तिरक्या समांतर रेषा म्हणजे आरशाची उलट बाजू.

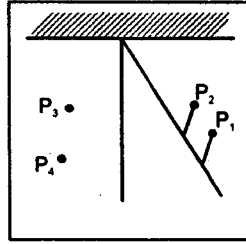
आरसा दाखवलेल्या ठिकाणी ठेवून त्याच्या परावर्तनाच्या पृष्ठभागावरून,



आकृती 3 ब



आकृती 3 क

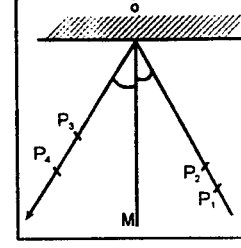


आकृती 3 ड

ड्रॉइंग पेपरवर रेष काढा. म्हणजे प्रयोगात आरसा हलला तरी पुन्हा पूर्वीच्या स्थितीत आणता येईल, तसेच प्रयोगानंतरच्या विचारांतही त्याचा उपयोग होईल. आरसा बाजूला काढून, आरसा दाखवणाऱ्या रेषेच्या मध्यातून एक रेषा आरशाला काटकोनात असणाऱ्या या रेषेला स्तंभिका म्हणतात.

आकृती 3 ब मध्ये दाखवल्याप्रमाणे स्तंभिकेच्या एका बाजूला आरशाजवळ स्तंभिकेला मिळणारी एक रेषा काढून त्यावर दोन टाचण्या  $P_1$  व  $P_2$  उभ्या रोवा. आता पुन्हा आरसा, आरशाच्या जागेवर ठेवा व  $P_3$  ही टाचणी, आकृती 3 क मध्ये दाखवल्याप्रमाणे स्तंभिकेच्या दुसऱ्या बाजूला नेऊन आरशात बघत, टाचणी  $P_1$ ,  $P_2$  च्याच रेषेत येईल अशा रितीने रोवा. (हे करतांना एकाच डोळ्याने बघणे अत्यावश्यक आहे; तसेच डोळा शक्य तेवढा दूर नेऊन लांब हाताने - मनगटाचा भाग मात्र कागदावर टेकवत केल्यास त्रुटी कमी करता येतात.) नंतर आकृती 3 ड मध्ये दाखवल्याप्रमाणे  $P_4$  ही टाचणीही  $P_3$  च्या मागे आरशात बघत अशा रितीने

रोवा की  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  व  $P_4$  एकाच रेषेत दिसतील.  $P_4$  कडून दुरून बघताना  $P_4$  च्या मागे  $P_3$  व  $P_2$ ,  $P_1$  च्या प्रतिमा दिसता कामा नयेत.  $P_4$  मुळे त्या झाकल्या जाव्यात. आता कागदावरील आरसा व टाचण्या काढाव्यात व आरशावरील 'O' बिंदू व  $P_3$ ,  $P_4$  या टाचणीच्या खुणा जोडाव्यात. आकृती 3 इ पाहा.



आकृती 3 इ

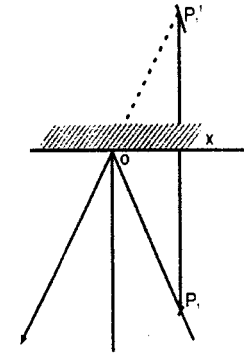
$\angle P_1 O M$  या कोनाला आपाती कोन म्हणतात.  
 $\angle M O P_4$  या कोनाला परावर्तित कोन म्हणतात.

\* आपाती कोन व परावर्तित कोन मोजा.

\* निरनिराळे आपाती किरण, निरनिराळ्या कोनात घ्या.

त्यांचे परावर्तित किरण मिळवा त्यांतील कोन मोजा.

\* आपाती कोन व परावर्तित कोन यांचा संबंध काय ते सांगा.



आकृती 3 फ

आकृती 3 फ मध्ये दाखवल्याप्रमाणे  $P_1$  बिंदूतून आरशाच्या रेषेवर लंब टाका व ती रेषा आरशापलीकडेही वाढवा. परावर्तित किरणही आरशाच्यामागे वाढवा.  $P_1$  कडून टाकलेला लंब व मागे वाढवलेला परावर्तित किरण यांचा छेदन बिंदू मिळवा. त्याला  $P'$  हे नाव द्या.  $P_1 P'$  आरशाच्या वाढीव रेषेला जिथे छेदतो त्याला 'X' नाव द्या.  $P_1 X$  हे अंतर व  $X P_4$  हे अंतर मोजा.

\* आरशातून मिळणाऱ्या प्रतिमेसंदर्भात वरील प्रयोगातून काय निष्कर्ष काढाल ?

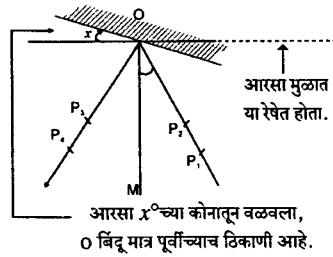
## प्रयोग - 4

### साहित्य :

प्रयोग क्र.3 मधील सर्व साहित्य

### काय कराल :

प्रयोग क्र.3 प्रमाणे एक आपाती किरण व परावर्तित किरण मिळवा (आपाती कोन साधारणपणे  $30^\circ$  चा घ्यावा). 'O' बिंदू (जिथे स्तंभिका, आपाती किरण व परावर्तित किरण मिळतात) आरशाच्या रेषेवर स्थिर ठेवून, आरसा थोडा  $20^\circ$  किंवा  $30^\circ$  कोनातून फिरवा.



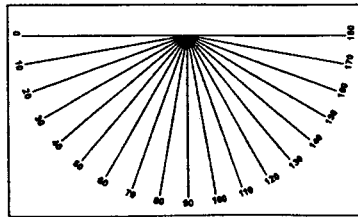
आकृती 4

$P_3$  व  $P_4$  टाचण्या काढा.  $P_1$  व  $P_2$  टाचण्यामात्र तशाच राहू द्या. म्हणजे मूळ आपाती किरण तोच राहीला. नव्याने परावर्तित किरण (मूळ - पूर्वी प्रयोग केलेल्या कागदावरच) मिळवा. नवी स्तंभिका वेगळ्या रंगाने व नवा परावर्तित किरणही वेगळ्या रंगाने काढा.

खालील रिकामी जागा वरील प्रयोगाच्या आधारे भरा.

\* आरसा  $x^\circ$  च्या कोनातून वळवल्यास, परावर्तित कोन \_\_\_\_\_ $^\circ$  च्या कोनातून वळतो.

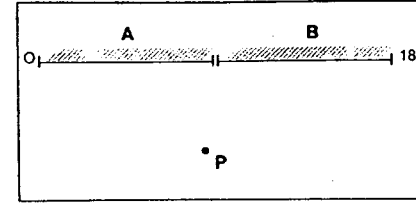
## प्रयोग - 5



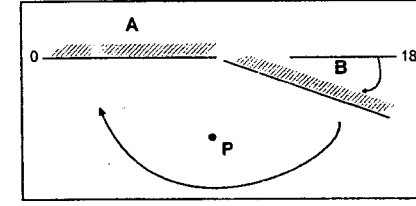
आकृती 5 अ

### साहित्य -

प्रयोग क्र.2,3 व 4 मध्ये वापरलेल्या उभ्या राहणाऱ्या आरशाप्रमाणे एकूण 2 आरसे, प्रयोग क्र. 2 मधील लाल रंगाचे उभे राहणारे दाभण, ड्रॉइंग कागद, कोनमापक, पट्टी व पेन्सिल.



आकृती 5 ब



आकृती 5 क

### काय कराल :

टेबलावर ड्रॉइंग कागद किंवा कोरा (रेषा न आखलेला) फूलस्कॅप कागद ठेवा. आकृती 5 अ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे त्यावर कोनमापकाने मोजून आकृती काढा. म्हणजे कोनमापक आपण कागदावर उतरवले. आकृती 5-ब मध्ये दाखविल्याप्रमाणे दोन आरसे A व B मूळ रेषेवर (कोनमापकाच्या पायावर), एकमेकांच्या बाजूला चिकटवून ठेवा व  $90^\circ$  च्या रेषेवर P हे लाल रंगाचे दाभण उभे ठेवा.

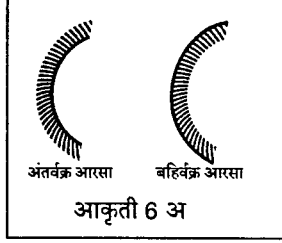
दोन आरशात  $180^\circ$  चा कोन असल्यास लाल दाभणाच्या किती प्रतिमा मिळतात ते नोंदवा. आकृती 5 क मध्ये दाखविल्याप्रमाणे 'B' आरसा विविध कोनांतून वळवीत जा. (हे करताना त्याचे एक टोक 'A' आरशाशी जुळलेले असू द्या. शक्यतो, दाभण P चे स्थान दोन आरशांच्या मध्याशी राहू द्या.)

\* दोन आरशांत किती कोन केले असता किती प्रतिमा मिळतात याचे कोष्टक बनवा.



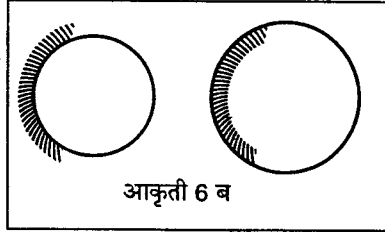
## गोलिय आरसे

आकृती 6 अ मध्ये एक अंतर्वक्र व एक बहिर्वक्र आरसा दाखवला आहे. त्याचा परावर्तित पृष्ठभाग कोणता हे आकृतीतून स्पष्ट होते.

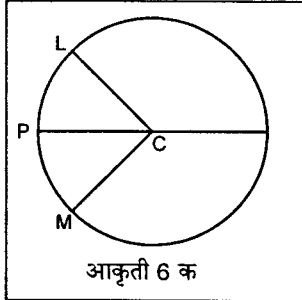


आकृती 6 ब मध्ये याच अंतर्वक्र व बहिर्वक्र आरशांचा गोलिय पृष्ठभाग, त्याच वक्रतेने वाढवला आहे. त्यावरून अंतर्वक्र व बहिर्वक्र आरशांना आपण एका मोठ्या गोलाचा भाग मानतो. (आकृती सपाट कागदावर असल्याने अंतर्वक्र किंवा बहिर्वक्र आरसा

कंसवर्तुळाने दाखवतात, तर तो गोलाचा भाग असल्याचे दाखवण्यासाठी वर्तुळ पुरेसे आहे.)



## प्रयोग - 6



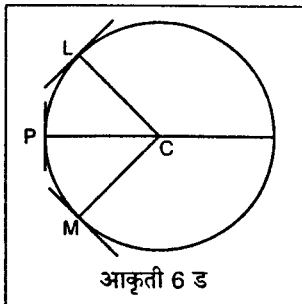
पूर्ण आकाराचा ड्रॉइंग पेपर घ्या. त्यावर एक मोठे (30 cm) त्रिज्येचे वर्तुळ काढा. त्यावर आकृती 6-क मध्ये दाखविल्याप्रमाणे एक व्यास व दोन त्रिज्या काढा.

आ. 6 क मध्ये C हा वर्तुळाचा केंद्रबिंदू आहे.

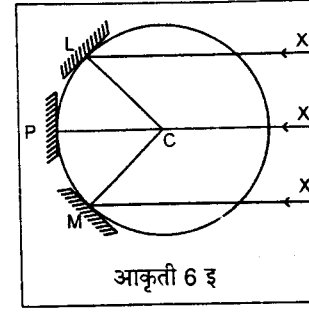
L, P व M बिंदूंतून त्रिज्या परिघाला मिळताहेत.

आ. 6 ड मध्ये वर्तुळाला L, P व M बिंदूंत स्पर्श करणाऱ्या स्पर्शिका दाखवल्या आहेत. या स्पर्शिकांना त्रिज्या लंब आहेत याची नोंद घ्या.

आता समजा की, या स्पर्शिका म्हणजे सपाट आरसे आहेत आणि XP हा प्रकाश किरण आहे. हा किरण वर्तुळाच्या केंद्रातून जातो. या



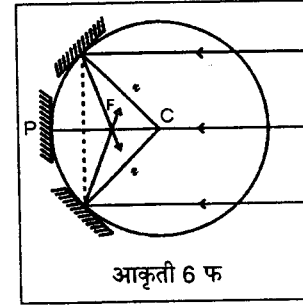
आकृती 6 क



किरणाला  $X_1$ , L व  $X_2$  हे किरण समांतर आहेत. CL, CP व CM या वर्तुळाला तेथील स्पर्शिकेला म्हणजेच तेथील सपाट आरशाला लंब आहेत, म्हणजे त्रिज्या ही स्तंभिका झाली. या तीनही आरशांसाठी आता परावर्तित किरण मिळवा. यासाठी आपाती कोनाएवढाच परावर्तित कोन घ्यावा. (आकृती अत्यंत बारीक पेन्सिलने व चांगल्या कंपासने काढावी. त्रिज्येला स्पर्शिका काटकोनात असणे व त्याच स्पर्शबिंदूशी आपाती किरण येणे गरजेचे आहे.)

## \* वरील प्रयोगातून खालील माहिती पडताळा.

1. तीनही आरशांतील परावर्तित किरण एकाच बिंदूत एकवटतात का?
2. हा बिंदू CP चा मध्य आहे का ?



- अंतर्वक्र किंवा बहिर्वक्र आरसा हे मोठ्या गोलाचे भाग आहेत.
- त्या गोलाचा केंद्र म्हणजे गोलिय आरशाचा केंद्र. त्याला आरशाचा वक्रता केंद्र म्हणतात व तो शक्यतो 'C' अक्षराने दाखवतात.
- गोलिय आरशाचा प्रत्येक बिंदू हा सपाट आरशाप्रमाणेच कार्य करतो.

- गोलिय आरसा ज्या गोलाचा भाग आहे त्या गोलाची त्रिज्या म्हणजे गोलिय आरशाची वक्रता त्रिज्या.
- गोलिय आरशात, त्या आरशाच्या मध्याला (आकृती 6 फ मध्ये P) धृव म्हणतात, तर वक्रता केंद्रातून (गोलाचा केंद्र - C) ध्रुवाकडे (P कडे) जाणारी रेषा म्हणजे त्या गोलिय आरशाचा मुख्य अक्ष.
- आकृती 6 फ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे प्रकाश किरण मुख्य अक्षाला समांतर येत असतील, तर ते F या बिंदूत एकवटतात. त्याला आपण मुख्य नाभी म्हणतो.

- आरशाचा मध्य (ध्रुव-P) ते मुख्य नाभी या अंतराला आरशाचे नाभीय अंतर म्हणतात. हे अंतर वक्रता त्रिज्येच्या अर्धे असते.

## प्रयोग - 7

प्रयोग-6 मध्ये आपण भौमितिक कृतीच्या आधारे प्रयोग केला. खरोखरच त्या स्पर्शिकांवर आरसे उभे ठेवून टाचण्यांच्या सहाय्याने परावर्तित किरण मिळवा.

\* प्रयोग 6 व प्रयोग 7 मध्ये काही फरक आढळतो. कोणत्या त्रुटीमुळे हा फरक आढळतो ते शोधा. ही त्रुटी कमी कशी करता येईल ?

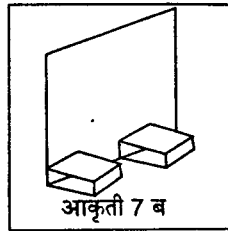
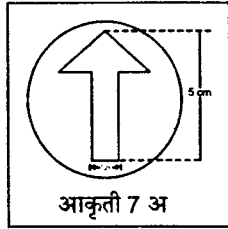
## प्रयोग - 8

### साहित्य :

टॉर्च (मोठा - शक्यतो कमांडो), ट्रेसिंग कागद (चांगल्या दर्जाचा), कार्डपेपर, अंतर्वक्र आरसा, मीटर टेप, मोठा पुढा, ड्राईंग पेपर, खळ (gum).

### काय कराल :

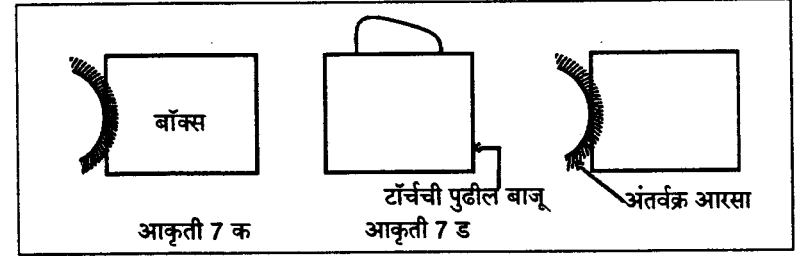
(हा प्रयोग जमिनीवर व कमी प्रकाशात, शक्यतो अंधारात करावा.)



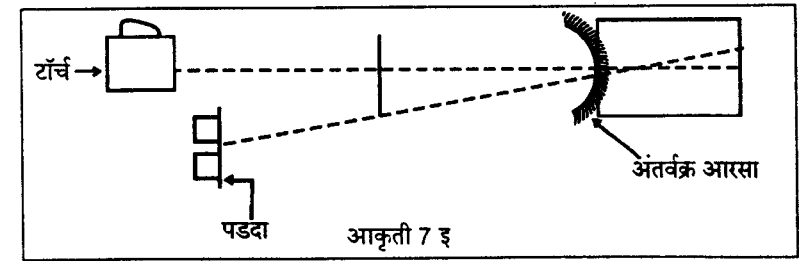
1. कमांडो बॅटरीच्या काचेवर चांगल्या दर्जाचा ट्रेसिंग कागद चिकटवा. (चिकटवण्यासाठी खळ/फेविकॉल किंवा जे काही असेल ते, अगदी कडेच्या बाजूने फक्त 4-5 ठिकाणीच थोडेसे लावावे.)
2. आकृती 7-अ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे एका कार्डपेपर मधून 5cm उंचीचा व 1cm रुंदीचा बाण कापा.
3. आता हा कार्डपेपर बॅटरीवरील ट्रेसिंग कागदावर चिकटवा. म्हणजे प्रकाशित व माहित असलेली उंची असलेला बाण म्हणजे आपला पदार्थ झाला.
4. एका मोठ्या पुढ्यावर पांढरा ड्राईंग कागद चिकटवा किंवा पांढरा माउण्ट बोर्ड घ्या. त्याच्या पाठच्या बाजूने तळाशी दोन माचीसच्या मोठ्या पेट्या चिकटवा. त्या

पेट्यांमध्ये पूर्णपणे वाळू भरा. (मोठ्या माचीसच्या पेट्या जर मिळाल्या नाहीत तर इतर कोणतेही मोठे बॉक्स घ्यायला हरकत नाही. फक्त पडद्याची पांढरी बाजू त्यांच्या विरुद्ध दिशेला यायला हवी, आणि पडदा सरळ उभा राहायला हवा.)

5. आपली प्रयोगाची सर्व तयारी आता पूर्ण झाली. आता अंधान्या खोलीत जमिनीवर कमांडो टॉर्च ठेवा, त्यासमोर साधारणपणे 4cm अंतरावर अंतर्वक्र आरसा उभा ठेवा. (अंतर्वक्र आरसा उभा ठेवण्यासाठी एका मोठ्या बॉक्समध्ये वाळू भरून त्या बॉक्सच्या मध्याशी तो चिकटवावा - आकृती 7 क पहा) टॉर्चपुढील बाण व अंतर्वक्र आरसा एकमेकांसमोर येणे गरजेचे आहे; तसेच दोन्हीही सरळ असणे अत्यावश्यक आहे. (पहा आकृती 7 ड.)

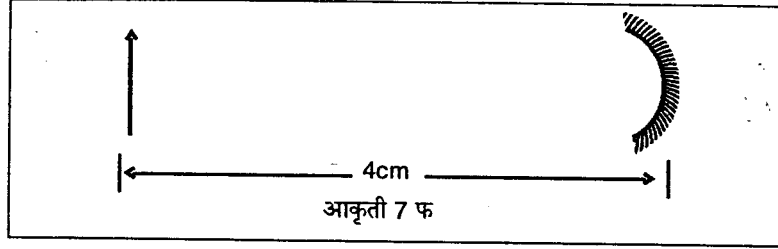


६. आपण तयार केलेला पडदा टॉर्चच्या बाजूला ठेवा. आरसा जेमतेम 1° च्या कोनाने पडद्याच्या बाजूला वळवा. (आकृती 7 इ पहा)



यापुढे आकृतीत पदार्थ बाणाच्या स्वरूपात (↑) दाखवला जाईल, टॉर्च दाखवला जाणार नाही. तो दाखवायची गरजही नाही. तसेच पडदाही दाखवायची

गरज नाही. कारण, प्रत्यक्ष प्रतिमाच दाखवायची आहे. तसेच आरशाचा कोणत्याही प्रकारचा स्टँडही दाखवायची आवश्यकता नाही. अंतर्वक्र आरसा ( ) तर बहिर्वक्र आरसा ( ) असा दाखवला जाईल. पाहा आकृती 7 फ.



आरसा फार थोड्या प्रमाणावर पडद्याच्या दिशेने वळवल्यावर पडदा हळू हळू आरशाजवळ सरकत न्या. (हे करताना पदार्थाच्या आपल्या टॉर्चमधील प्रकाशित बाण, आणि आरशाच्याध्ये तो येणार नाही हे बघा.) जेव्हा बाणाची स्पष्ट प्रतिमा पडद्यावर मिळेल तेव्हा थांबा. प्रतिमेचे पडद्यापासूनचे अंतर मोजा व प्रतिमेचे स्वरूप नीट पहा.

आता

७. आरसा व पदार्थ यांतील अंतर कमी-कमी करत जा व पुढील कोष्टक पूर्ण करा.

पदार्थाचे आरशापासून अंतर $u = \text{cm}$	प्रतिमेचे आरशापासून अंतर $v = \text{cm}$	पदार्थाची उंची  cm	प्रतिमेची उंची cm	प्रतिमेचे* स्वरूप
400		(आपल्या प्रयोगात बाणाची उंची)		
300				
200				
100				
80				
60				
50				
40				
30				
20				
10				

\* प्रतिमेचे स्वरूप - प्रतिमा उलट आहे की सुलट; तसेच प्रतिमा पदार्थापेक्षा लहान आहे ? की मोठी आहे ? की तेवढीच आहे ?

\* वरील कोष्टकात तुम्ही जमा केलेली माहिती फक्त 4 वाक्यांत व्यक्त करा.

\* पदार्थ आणि प्रतिमेची उंची सारखीच असताना, पदार्थ आणि प्रतिमेचे अंतर्वक्र आरशापासून असणारे अंतर ..... असते.

\* पडद्यावर मिळणारी पदार्थाची प्रतिमा नेहमी अ) उलटी असते, ब) सरळ असते, क) काही वेळा उलट व काही वेळा सरळ असते, ड) पदार्थ अंतर्वक्र आरशापासून दूर असताना प्रतिमा सरळ असते.

\* पदार्थ जसजसा अंतर्वक्र आरशाच्याजवळ आणावा तसतशी प्रतिमेची उंची वाढत जाते / कमी होत जाते.

\* पदार्थ अंतर्वक्र आरशाच्या वक्रता केंद्र व मुख्य नाभी यांच्यामध्ये (पण वक्रता केंद्राजवळ) ठेवा व प्रतिमा मिळवा.

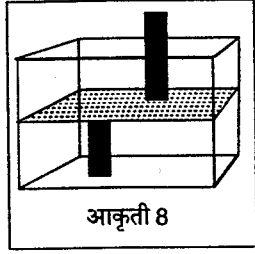
पदार्थाचे व प्रतिमेचे अंतर्वक्र आरशापासूनचे अंतर नीट नोंदवून ठेवा. तसेच पदार्थ व प्रतिमा यांची उंचीही नोंदवा. आता, ज्या ठिकाणी प्रतिमा मिळते, त्या ठिकाणी पदार्थ ठेवा. पुन्हा प्रतिमा मिळवा. प्रतिमा व पदार्थाचे आरशापासूनचे अंतर नोंदवा. अधिक निरीक्षणे करून ते निरीक्षण आपल्या भाषेत नोंदवा.

## २ अपवर्तनावर आधारीत प्रयोग

### प्रयोग - 9

अंतर्वक्र आरशाचा प्रयोग क्र. 8 मध्ये जो काही अनुभव घेतला, तसाच सर्व प्रयोग बहिर्वक्र आरशातून करा व आपले अनुभव मांडा.

### अपवर्तन



### प्रयोग - 10

#### साहित्य :

काचेची पेटी (फिश-टँक), पाणी व स्ट्रॉ.

#### काय कराल :

फिश-टँक पाण्याने अर्धे भरा. त्यामध्ये एक स्ट्रॉ उभी ठेवा. फिश-टँकमधील पाण्याच्या पातळीकडे डोळा नेऊन फिश-टँकमधील स्ट्रॉकडे निरनिराळ्या कोनांतून पाहा. स्ट्रॉ तुटलेली दिसते.

\* पाण्यातील स्ट्रॉ आपण पाहतो त्या बाजूला झुकते ? की त्याच्याविरुद्ध बाजूला ?

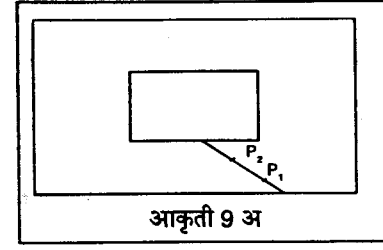
### प्रयोग - 11

#### साहित्य :

काचेची चिप, कंपास पेटी, ड्रॉइंग कागद, ड्रॉइंग बोर्ड (किंवा 9 mm चा थर्मोकोल) व टाचण्या.

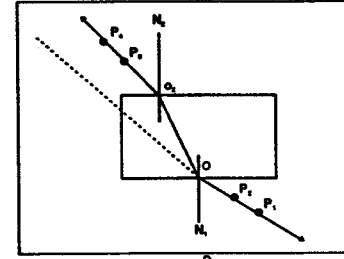
#### काय कराल :

ड्रॉइंग बोर्ड किंवा प्रयोग क्र.3 प्रमाणे थर्मोकोलच्या पाटावर ड्रॉइंग पेपर



ठेवा. त्यावर काचेची चिप ठेवून त्याभोवती त्या चिपेची बाह्यरेषा (outline) कागदावर काढा. परावर्तन समजावून घेण्यासाठी केलेल्या प्रयोगाप्रमाणे (प्रयोग क्र.3 प्रमाणे) एक आपाती किरण काढा (आकृती 9 अ बघा). (हा आपाती किरण साधारण 40°-60° च्या दरम्यान घ्या. अगदीच कमी घेऊ नका.) आता त्या आपाती किरणावर दोन टाचण्या P<sub>1</sub> व P<sub>2</sub> रोवा.

आपाती किरणाच्याविरुद्ध बाजूने काचेच्या चिपेतून पलीकडच्या P<sub>1</sub> व P<sub>2</sub>



आकृती 9 ब

या टाचण्या बघा. त्याच सरळ रेषेत येईल अशा रितीने P<sub>3</sub> व त्याच्यामागे त्याच सरळ रेषेत येईल अशा रितीने P<sub>4</sub> ही टाचणी रोवा. (हे करताना टाचणीपासून शक्य तेवढ्या दुरून बघा.) टाचण्या सरळ रेषेत आहेत याची खात्री पटल्यावर टाचण्या व चिप काढा व P<sub>3</sub> व P<sub>4</sub> यांच्यामुळे मिळणारी रेषा चिपेच्या

बाह्यरेषेपर्यंत वाढवा. आपाती किरणही चिपेच्या बाह्यरेषेतून पलीकडे वाढवा. आपाती किरण ज्या बिंदूतून चिपेत प्रवेश करतो; तसेच अपवर्तित किरण जिथून चिपेतून बाहेर पडतो, या दोन्ही बिंदूशी N<sub>1</sub> व N<sub>2</sub> या स्तंभिका (चिपेच्या पृष्ठभागाला लंब) काढा. दोन्ही स्तंभिकांचे चिपेच्या काचेशी असणारे छेदन बिंदू O<sub>1</sub> व O<sub>2</sub> जोडा.

\* आपाती किरण व अपवर्तित किरण एका सरळ रेषेत नाहीत याचा अर्थ काय ? प्रकाश किरण माध्यम बदलतांना स्वतःचा मार्ग बदलतात ?

\* निरनिराळे आपाती कोन घ्या व त्यांचे अपवर्तित कोन मिळवा व ते कोष्टकात भरा.

क्र.	आपाती कोन °	अपवर्तित कोन °
1	20	
2	30	
3	40	
4	50	
5	60	
6	70	

### प्रयोग - 12

प्रयोग क्र. 11 मधील प्रयोग फिश-टँक मध्ये पाणी घेऊन करा. त्यासाठी मध्यम आकाराच्या बारीक सुयांचा वापर करता येईल.

प्रयोग क्र. 11 व 12 च्या निरीक्षणातून स्पष्ट होते की, पदार्थ विरळ माध्यमातून घन माध्यमात जाताना स्तंभिकेजवळ वळतात, तर घन माध्यमातून विरळ माध्यमात जाताना स्तंभिकेपासून दूर जातात (म्हणजे स्तंभिकेशी होणारा त्यांचा कोन वाढतो.)

### प्रयोग - 13

साहित्य :

काचेचा ग्लास, पाणी व स्ट्रॉ.

काय कराल :

स्ट्रॉ काचेच्या पारदर्शक ग्लासमधील पाण्यात मध्याशी उभी ठेवा. स्ट्रॉ तुटलेली दिसते का ?

※ प्रयोग क्र. 10, 11 व 12 यांच्या साहाय्याने स्ट्रॉ तुटलेली का (पाण्याच्या पृष्ठभागाशी प्रयोग क्र. 10 प्रमाणे) दिसत नाही ते शोधा.

※ स्ट्रॉ पाण्यात मध्याशी न ठेवता बघा. आतामात्र स्ट्रॉ, पाण्याच्या पृष्ठभागाशी तुटलेली दिसते.

### प्रयोग - 14

साहित्य :

रिकामा विजेचा दिवा, फिश-टँक, पाणी इ.

काय कराल :

रिकाम्या विजेच्या दिव्यात पाणी भरा व साधारण 2-3 cm अंतरावरील बारीक अक्षरे बघा. अक्षरे मोठी वाटतात.

हा पाणी भरलेला विजेचा दिवा डोळ्यांपासून दूर न्या व दिव्यातून पलीकडे पाहा. पलीकडच्या वस्तू लहान व उलट दिसतात.

पाणी भरलेला हा दिवा खिडकीसमोरच्या भिंतीसमोर 3-4 cm अंतरावर धरा. खिडकीची प्रतिमा भिंतीवर दिसते.

आता हा पाणी भरलेला दिवा फिश टँकमधील पाण्यात बुडवा व पलीकडे पाहा.

※ आपले निरीक्षण नीट लिहा व त्याचा अर्थ शोधा.

### प्रयोग - 15

साहित्य :

वरीलप्रमाणे.

काय कराल :

रिकामा (हवा असलेला) विजेचा दिवा, फिश-टँकमधील पाण्यात बुडवा व पलीकडे पाहा.

※ आपले निरीक्षण नोंदवा.

※ हे का झाले असावे याचे कारण शोधायचा प्रयत्न करा.

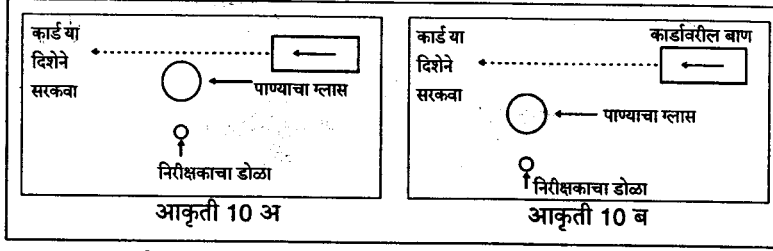
## प्रयोग - 16

### साहित्य :

काचेचा पाण्याचा ग्लास, पांढरा कागद, पाणी व पेन किंवा पेन्सिल.

### काय कराल :

सुस्वातीला पांढऱ्या कागदावर एक बाण काढा. हा बाण असणारा कागद पाणी भरलेल्या ग्लासच्या पलीकडे, ग्लासच्या जवळ धरा व आकृती 10 अमध्ये



दाखवल्याप्रमाणे ग्लासच्या पलीकडून हळू सरकवत न्या. त्या वेळी आपले लक्ष ग्लासमधील पाण्यातून पलीकडे असायलं हवे.

\* कागद सरकवण्याची दिशा व ग्लासमधून आपल्याला दिसलेल्या बाणाची दिशा सारखीच आहे का, याची नोंद करा.

आकृती 10 ब मध्ये दाखवल्याप्रमाणे आता कार्ड ग्लासपासून दूर धरा व पुन्हा दाखवलेल्या दिशेत सरकवा. ग्लासमधून पाहिल्यास सरकवण्याची दिशा (प्रत्यक्ष कार्ड जाण्याची) व ग्लासमधून जे काही दिसते, त्या दोन्ही दिशा सारख्याच आहेत का ? याची नोंद करा.

\* नेमके काय घडले असावे हे तपासण्याचा प्रयत्न करा.

## प्रयोग - 17

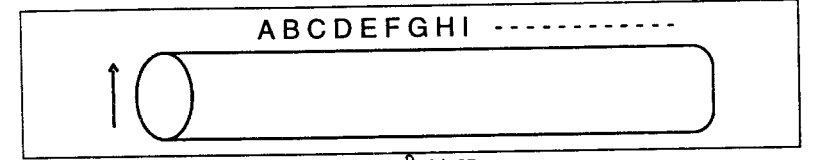
### साहित्य :

काचकाडी, कागद व पेन.

### काय कराल :

एका कागदावर इंग्रजी मुळाक्षरे (A-Z) कॅपिटल (मोठ्या) लिपीत सरळ रेषेत लिहा. त्यावर 4-5 cm अंतरावर काचकाडी आडवी धरा. पाहा आकृती क्र.

11 अ. ---



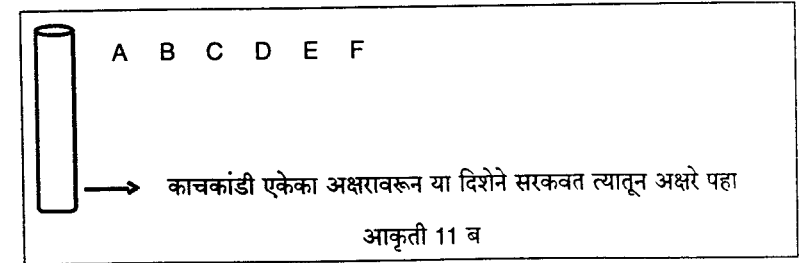
आकृती 11 अ

या काचकाडीतून पलीकडील अक्षरे पाहा. काचकाडी जर 4-5 cm अंतरावर असेल तर अक्षरे लहान व उलट दिसतात.

\* सगळीच अक्षरे लहान व उलट दिसतात का ? काही अक्षरे सरळ दिसतात का ?

आता काचकाडी याच मुळाक्षरांवर उभी धरा व पुन्हा पलीकडची अक्षरे वाचा (अंतर 4 ते 5 cm ठेवा). आकृती 11 ब पाहा.

काचकाडी एकेका अक्षरावरून या दिशेने सरकवत त्यातून अक्षरे पाहा.



आकृती 11 ब

\* आपली निरीक्षणे नोंदवा.

## प्रयोग - 18

### साहित्य :

परीक्षा नळी, पाणी, मेण, कागद व पेन.

### काय कराल :

- अ) परीक्षा नळी पाण्याने साधारणपणे 95% एवढी भरा. उरलेल्या भागात मेण वितळवून टाका. मेण थिजू द्या. प्रयोग क्र. 17 मधील प्रयोग या पद्धतीने करता येईल
- ब) परीक्षानळीत हवेचा एक बुडबुडा राहू द्या. या बुडबुड्यातून पलीकडची अक्षरे पाहा.

\* आपला अनुभव लिहा.

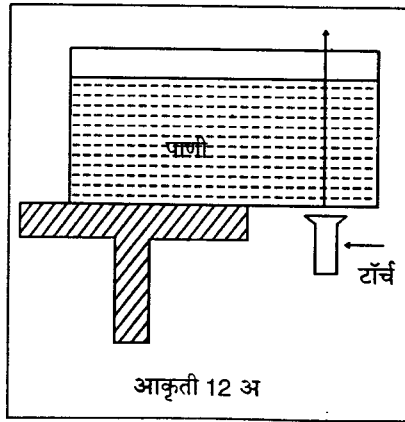
\* असे का घडले असेल, याचे वैज्ञानिक कारण शोधा.

## प्रयोग - 19

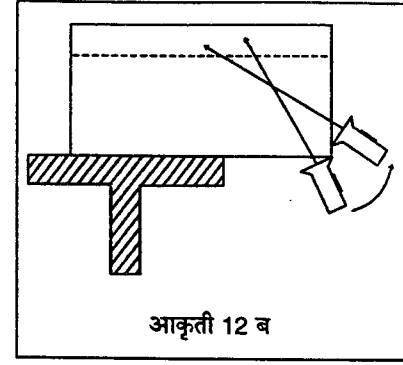
### साहित्य :

फिश-टँक, पाणी, पेन्सिल, टॉर्च किंवा लेझर बीम (लेझर टॉर्च).

### काय कराल :



अंधान्या खोलीत, पाण्यासह फिश-टँक, आकृती 12-अ मध्ये दाखवल्याप्रमाणे टेबलाच्या कडेपेक्षा थोडासा बाहेर ठेवा व खालच्या काचेतून एका टॉर्चने प्रकाश पाण्यात सरळ रेषेत, पाण्याच्या पृष्ठभागाला 'लंब' टाका. प्रकाशाचा ठिपका छपरावर दिसतो. आकृती 12 ब मध्ये दाखवल्याप्रमाणे टॉर्च बाणाच्या दिशेने



हळूहळू हलवत न्या. काय घडते ते पाहा.

\* आपले निरीक्षण आ-12 ब मध्ये पूर्ण करा.

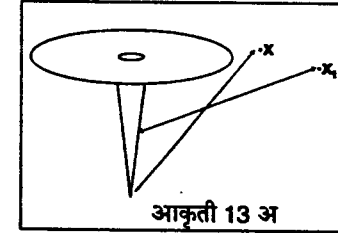
\* जे काही निरीक्षण केले त्याचे वैज्ञानिक स्पष्टीकरण घ्यायचा प्रयत्न करा.

## प्रयोग - 20

### साहित्य :

4 ते 5 सें.मी व्यासाची प्लॉस्टिकची अपारदर्शक चकती (एखाद्या छोट्या डबीचे झाकण चालेल), पाणी, टाचणी व प्लॉस्टिकचा अपारदर्शक ट्रे.

### काय कराल :



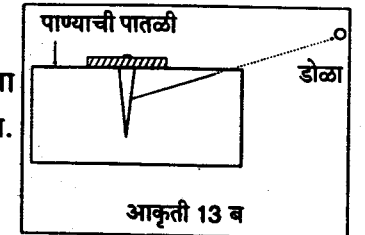
आकृती 13 अ मध्ये दाखवल्याप्रमाणे एका प्लॉस्टिकच्या चकतीच्या मध्यातून एक टाचणी रोवा.

टाचणीचे टोक X या ठिकाणी आपला डोळा असल्यास दिसू शकते किंवा टाचणीचा मध्य X, या ठिकाणाहून दिसू शकतो. आता

एक प्लॉस्टिकचा अपारदर्शक ट्रे काठोकाठ पाण्याने भरा व त्या पाण्यावर ही प्लॉस्टिकची चकती आकृती 13 ब मध्ये दाखवल्याप्रमाणे ठेवा.

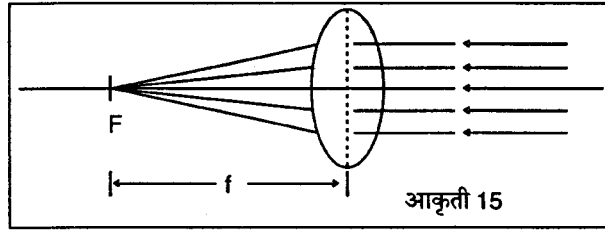
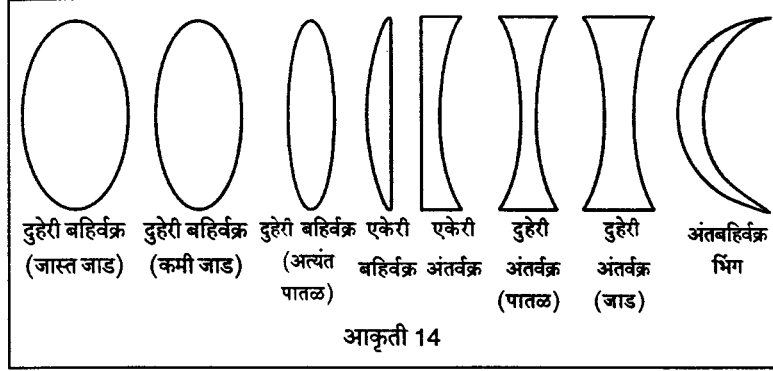
आता अगदी पाण्याच्या पातळीला अत्यंत जवळ जाऊन टाचणी दिसते का ते पाहा. टाचणी दिसत नाही.

\* टाचणी का दिसत नाही ?



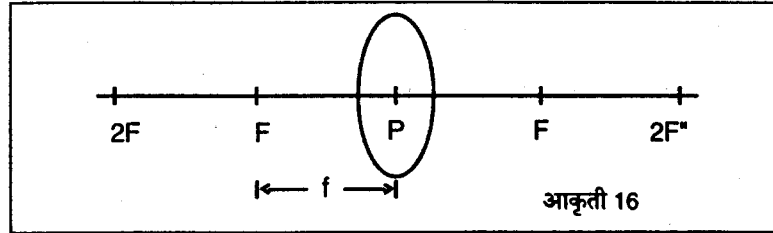
## भिंग

भिंगांचा अभ्यास हा गोलीय आरशाप्रमाणे आहे. मात्र भिंगांचे अनेक प्रकार असू शकतात (आकृती १४ पाहा).



बहिर्वक्र भिंग सूर्य किरणांना अचूक लंब असल्यास निश्चित अंतरावरच

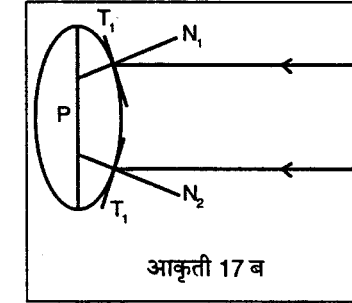
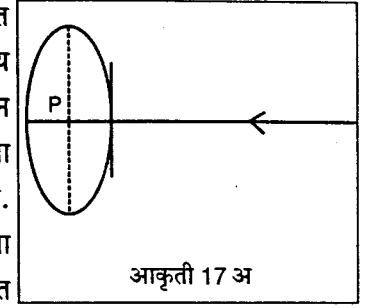
सर्व किरण एकवटतात त्या बिंदूला मुख्य नाभी असे म्हणतात. भिंगाच्या मध्याला धूव म्हणतात. भिंगाला लंब असणारी आणि धूवातून जाणाऱ्या रेषेला मुख्य नाभी (focus-F) म्हणतात. बहिर्वक्र भिंगात प्रकाशकिरण मुख्य नाभीला समांतर असतील, तर ते मुख्य नाभीत एकवटतात, (आकृती 16 पाहा)



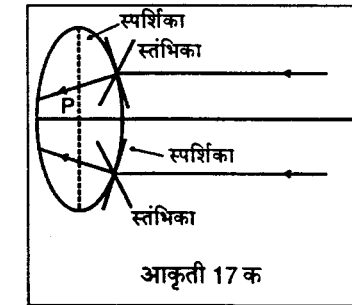
भिंगाचा मध्य ते मुख्य नाभी या अंतराला नाभीय अंतर (focal length -f) म्हणतात.

## भिंगाचे कार्य कसे चालते ? (किरण कसे वाकवले जातात ?)

सोयीसाठी मोठे बहिर्वक्र भिंग विचारात घेऊ या (आकृती 17 अ पहा). त्यात मुख्य अक्ष दाखवला आहे. या मुख्य अक्षावरून पाठवलेला किरण भिंगात प्रवेश करताना त्या पृष्ठभागाला (तेथील स्पर्शिकेला) लंब असतो. किरण लंब असताना अपवर्तन होत नाही. असा किरण व त्या ठिकाणची स्तंभिका एकाच रेषेत असतात.

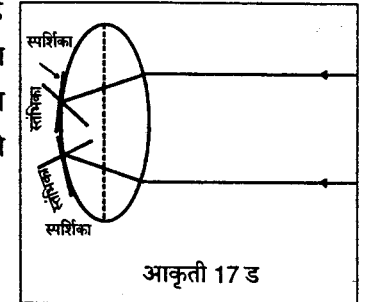


आकृती 17 ब मध्ये दुसऱ्या दोन ठिकाणी स्पर्शिका दाखवल्या आहेत ( $T_1$  व  $T_2$ ) या स्पर्शिकांना  $N_1$  व  $N_2$  या रेषा लंब आहेत. दोन्ही स्पर्शिकांच्या स्पर्शबिंदूंचीच प्रकाशकिरण भिंगावर पडताहेत. हे प्रकाश किरण हवेतून काचेत जात आहेत (विरळ माध्यमातून घन माध्यमात) म्हणजे ते स्तंभिकेकडे वळणार (आकृती 17 क पाहा).



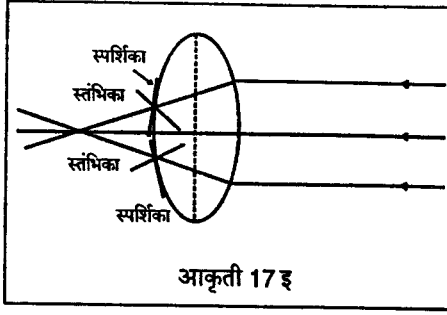
हे किरण भिंगाच्या पुढच्या गोलीय पृष्ठभागावरून अपवर्तित होऊन भिंगाच्या दुसऱ्या गोलीय पृष्ठभागावर पोहोचतात, त्या ठिकाणी भिंगाला पुन्हा स्पर्शिका व त्या पृष्ठाव्हा (स्पर्शिकेला लंब) स्तंभिका काढावी. आकृती 17 ड पाहा

(या ठिकाणी आधीच्या गोलीय पृष्ठभागावरील स्तंभिका व स्पर्शिकांची आवश्यकता नसल्याने त्या काढून टाकल्या आहेत).

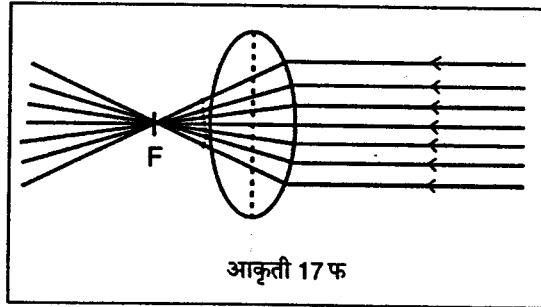




आत प्रकाशकिरण घन माध्यमातून (काचेतून हवेत) विरळ माध्यमात जाणार म्हणजे ते स्तंभिकेपासून दूर वळणार (आकृती 17 इ पाहा.)



किरण एकवटतात (एकत्र येतात), त्याला भिंगाची नाभी म्हणतात. किरण जर मुख्य अक्षाला समांतर असतील तर ते किरण मुख्य अक्षावरच एकत्र येतात; त्याला आपण मुख्य नाभी म्हणतो. आकृती क्र. 17 इ मधील स्तंभिका व स्पर्शिका काढून टाका म्हणजे खालील आकृती मिळेल (आकृती 17 फ).



भिंगाचा पृष्ठभाग मुख्य नाभीजवळ सपाट आहे, तर दोन टोकांजवळ तो अधिकाधिक वक्र होत जातो. त्यामुळे टोकाजवळील किरणांचे अपवर्तन जास्त होते तर

मुख्य अक्षावरील किरणांचे अपवर्तन होत नाही.

\* वरील पद्धतीने अंतर्वक्र भिंगाचे कार्य समजावून घ्या.

## प्रयोग - 21

साहित्य :

बहिर्वक्र भिंगे (निरनिराळ्या जाडीची, पट्टी)

काय कराल :

एका खिडकीसमोरील भिंतीवर बहिर्वक्र धरा ( हे भिंतीला समांतर असेल असे पाहा). भिंग भिंतीपासून थोडे पुढे किंवा मागे सरकवा, की ज्यामुळे अत्यंत रेखीव प्रतिमा भिंतीवर पाहायला मिळेल. ही प्रतिमा उलट व अतिशय लहान असते. अशी काटेकोर प्रतिमा असताना, भिंतीपासून भिंगाचे अंतर मोजा. हे अंतर म्हणजे भिंगाचे नाभीय अंतर.

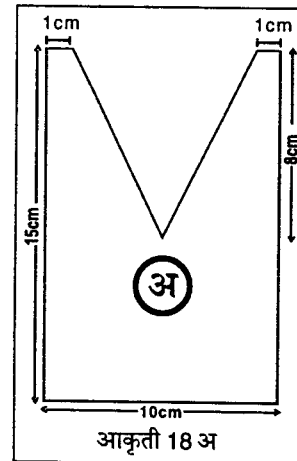
\* कोणत्या भिंगाचे नाभीय अंतर जास्त जाड की पातळ ?

## प्रयोग - 22

साहित्य :

बहिर्वक्र भिंगे, प्रयोग क्र. 8 मधील कमांडो - टॉर्चे (1 सह), मोठ्या काड्यापेट्या किंवा बॉक्सेस, पुष्टे, कटर, फेविकॉल व प्रयोग क्र. 8 मध्ये बनवलेला पडदा.

काय कराल :

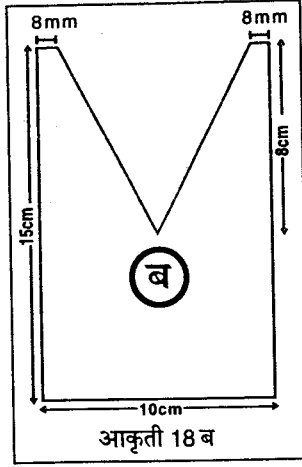


आकृती क्र. 18 अ मध्ये दाखवल्याप्रमाणे पुढच्याच्या आकृत्या कापा (एकूण 4). त्याला 'अ' नावे द्या.

आकृती क्र. 18 ब मध्ये दाखवल्याप्रमाणे एक आकृती कापा (आकृतीच्या मापातील बारीक फरक पाहा). त्याला 'ब' नाव द्या.

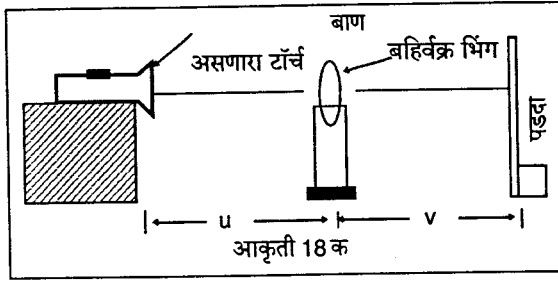
आता 'ब' च्या दोन्ही बाजूंनी 2 'अ' चिकटवा म्हणजे 'V' आकारात एक खाच मिळते.

ही पुढच्याची रचना उभी राहावी म्हणून प्रयोग क्र.8 प्रमाणे तळाशी मोठ्या काड्या पेट्या



चिकटवून त्यात वाळू भरा, म्हणजे आपले स्टँड तयार झाले. या स्टँडला शक्यतो दोन्ही बाजूंनी बॉक्स चिकटवावेत म्हणजे अधिक मजबुती येते. आता फेविकॉल पूर्ण सुकल्यावर 'V' आकारातील खाचेत आपल्याला हवे ते बहिर्वक्र भिंग ठेवावे. भिंगाच्या एका बाजूला कमांडो टॉर्च तर दुसऱ्या बाजूला, प्रयोग क्र. 8 मधील पडदा ठेवा. सर्वांची उंची सारखीच असायला हवी याची काळजी घ्या. (आकृती 18 क पहा.) आता खऱ्या अर्थाने आपण प्रयोगाला सुरुवात करणार.

टॉर्च (पदार्थ,



च्या स्वरूपात) व पडदा यांच्यात 4 ते 5 मीटरचे अंतर ठेवा. पडद्याच्याजवळ भिंग ठेवा. ते पडद्यापासून दूर न्या. ठरावीक ठिकाणी अत्यंत

रेखीव, लहान व उलट प्रतिमा मिळते. पदार्थ ते भिंग हे अंतर ( $u$  सें.मी.) मोजा, तर भिंग ते आरसा हे अंतर ( $v$  cm) मोजा. नंतर टॉर्च (पदार्थ) व पडदा यांतील अंतर कमी करत जा (पडदा स्थिर ठेवा) व त्याप्रमाणे प्रतिमा मिळवण्यासाठी भिंग हलवा व खालील तक्ता भरा.

क्र.	पदार्थाचे भिंगापासूनचे अंतर ( $u$ सें.मी.)	प्रतिमेचे भिंगापासूनचे अंतर ( $v$ cm)	प्रतिमेचे स्वरूप
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

असा तक्ता अंतर्वक्र भिंगाच्या निरीक्षणानेही बनवा.

\* खालील विधाने बरोबर आहेत का चूक आहेत ते सांगा. (चूक असल्यास सकारण दुरुस्त करा.)

1. बहिर्वक्र भिंग जेवढे जाड (फुगीर) तेवढे नाभीय अंतर कमी.
2. बहिर्वक्र भिंग पदार्थापासून जेवढे दूर (अंतर जास्त) असेल तेवढी प्रतिमा मोठी.
3. अंतर्वक्र भिंगात पदार्थापासून जेवढे अंतर कमी तेवढी प्रतिमा लहान.
4. अंतर्वक्र भिंगातून पडद्यावर नेहमीच उलट प्रतिमा मिळते.
5. बहिर्वक्र भिंगात प्रतिमा व पदार्थ यांची उंची सारखीच असेल तर  $u$  व  $v$  यांतील अंतर सारखेच असते.

शोधा :

1. काचेचे बहिर्वक्र भिंग पाण्यात ठेवल्यावर त्याच्या नाभीय अंतरात काही फरक पडतो का ?
2. दोन बहिर्वक्र भिंगे एकमेकांना जोडल्यास त्या जोडणीचा नाभीय अंतरावर काय परिणाम होतो ?
3. घरातील अंतर्वक्र व बहिर्वक्र आरसे व भिंगे.
4. परीक्षा नळीच्या तळाशी पाणी भरल्यास ते भिंगाप्रमाणे काम करेल का ?

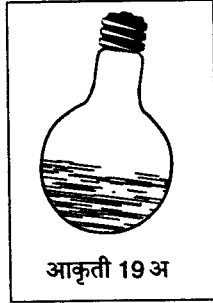
भिंग हे गोलांचे छेद आहेत हे पडताळणे.

## प्रयोग - 23

### साहित्य :

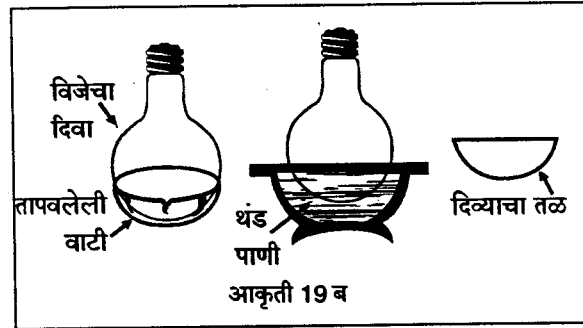
विजेचे (खराब झालेले) दिवे, स्टीलची लहान वाटी (व्यास 3 ते 4 cm असावा व त्याला कडा नसावी), गॅस किंवा वाटी तापवण्यास इतर साहित्य, प्लॅस्टिकची डबी (या डबीचा व्यास हा स्टीलच्या वाटीएवढाच असावा).

### काय कराल :



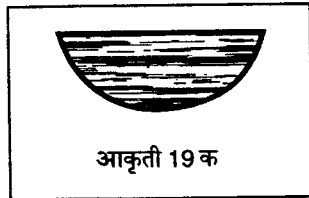
1. आकृती 19 अ मध्ये दाखवल्याप्रमाणे विजेच्या दिव्यात पाणी भरा. या पाण्यातून पलीकडच्या वस्तू पाहा. अक्षरे पाहा. मोठी झालेली दिसतात. हे झाले सपाट बहिर्वक्र भिंग. हे भिंग दिव्याच्या मोठ्या गोलाचा एक भाग आहे.

2. 3 ते 4 cm व्यासाची स्टेनलेस स्टीलची वाटी घ्या.



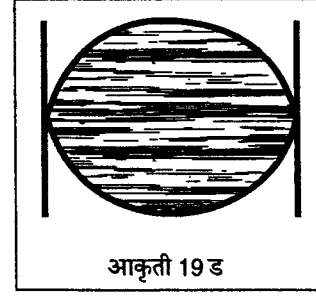
गॅसवर किंवा स्टोव्हवर ती खूप तापवा व नंतर विजेचा दिवा तिच्या तोंडावर दाबून (फार जोरात नाही) धरा व 30 सेकंदांनंतर दिवा काढून थंड पाण्यात

धरा. विजेच्या दिव्याचा खालचा तळ निखळून येतो (आकृती 19 ब पाहा)

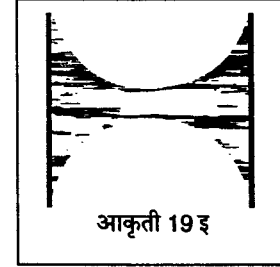


या वाटीत पाणी भरल्याने सपाट बहिर्वक्र भिंग तयार होते.

वरीलप्रमाणे दिव्याचे दोन भाग मिळवा. वाटीवर दिवा तिरका धरल्यावर दिव्यावरील



लिहिलेल्या खुणा ( कंपनीचे नाव किंवा उर्जा w ) टाळता येतात. साधारणपणे त्याच वाटीच्या व्यासाच्या एका प्लॅस्टिकच्या डबीचे झाकण व तळ काढून टाका. त्यात आधी तळाशी एक काचेची वाटी बसवा. व ती पाण्यात ठेवून दुसरी वाटी बसवा. आकृती '19 ड' प्रमाणे दुहेरी बहिर्वक्र भिंग मिळते. 19 इ प्रमाणे जर या वाट्या

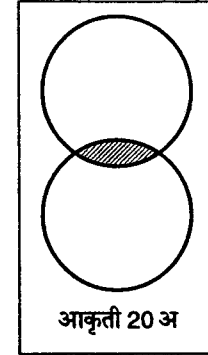
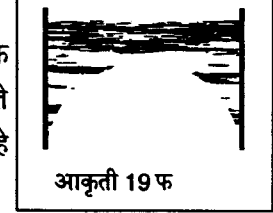


बसवल्या तर अंतर्वक्र भिंग मिळते.

एकाच बल्बच्या काचेची वाटी बसवली असता आकृती 19 फ प्रमाणे सपाट अंतर्वक्र भिंग तयार होते.

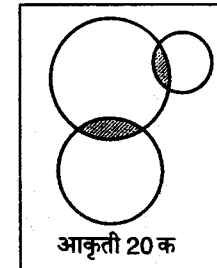
आकृती 19 क चा विचार करताना ते

सपाट बहिर्वक्र भिंग एका मोठ्या गोलाचा भाग आहे हे यापूर्वीच स्पष्ट केले आहे.

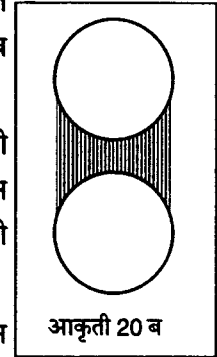


आकृती 19 ड च्या संदर्भात दोन सारख्याच गोलांचा तो समसंच असल्याचे स्पष्ट होते.

आकृती 20 अ पाहाल तर आकृती 19 फ मधील अंतर्वक्र भिंगही दोन गोलांचा भाग समजता येईल. आकृती 20 ब पाहा.



बहिर्वक्र किंवा अंतर्वक्र भिंग दोन सारख्याच गोलांचा संच असण्याची आवश्यकता नाही. आ. 20 क प्रमाणे दोन भिन्न गोलांचाही तो समसंच असू शकतो.

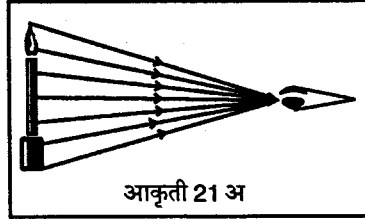


### ३ किरणाकृती

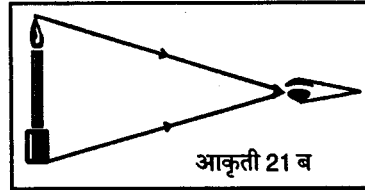
#### प्रकाश अभ्यासाची एक वैज्ञानिक शिस्त

प्रकाशाच्या संदर्भातील घटना, प्रयोग यांतील कार्यकारणभाव आणि उपकरण निर्मिती यांसाठी प्रकाश कोणत्या मार्गाने कुठे गेला. पुढे त्याचे परावर्तन होणार की अपवर्तन, ते किती प्रमाणात ? (आपाती कोन, पदार्थ व त्यांच्या घनता यांवर अवलंबून), नंतर हा किरण कोणत्या दिशेने जाणार ? कोणते किरण त्याला छेदणार ? किंवा हा किरण उलट दिशेने वाढवल्यास काय होईल ? इ.साठी किरणांच्या आकृत्या काढणे महत्त्वाचे आहे.

साध्या किरणाकृती काढण्यासाठी टोकदार पेन्सिल, चांगली पट्टी, संपूर्ण कंपास बॉक्स यांची आवश्यकता आहे; पण त्यापेक्षा जास्त गरज आहे संकल्पना समजून त्याप्रमाणे किरणाकृती काढण्याची .



आकृती 21 अ



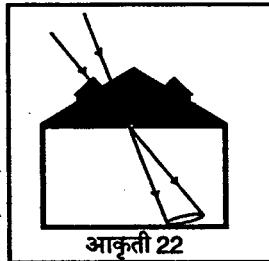
आकृती 21 ब

अशा वेळी दोन किरण पुरेसे आहेत (पाहा) आकृती 20 ब . याचा अर्थ त्यांमधील किरणही डोळ्यांत पोहोचत आहेत. किरणाकृतीत योग्य किरणांच्या निवडीला महत्त्व आहे.

कौलारू घरात जर कौलांमध्ये लहानशी फट असेल तर घरात कवडसा पडतो. हा कवडसा कसा

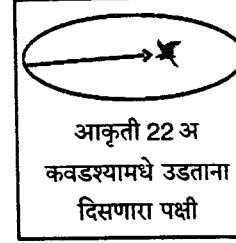
उदा. सोबतची मेणबत्ती एखाद्या व्यक्तीला दिसते म्हणजे नेमके काय होते हे सांगताना, मेणबत्तीपासून निघणारे किरण त्या व्यक्तीच्या डोळ्यांत जाण्याची आवश्यकता असते.

मेणबत्तीचा प्रत्येक भाग आपल्याला दिसतो हे दाखवायला मेणबत्तीच्या प्रत्येक बिंदूपासून किरण काढून तो डोळ्यांत जातो हे दाखवणे गरजेचे आहे. असे असंख्य किरण काढणे खरोखरच शक्य होत नाही.



आकृती 22

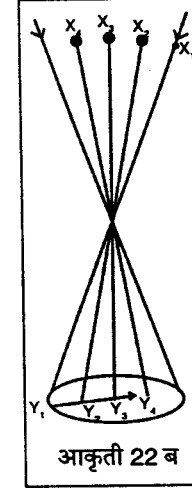
पडतो ?, हे समजायला आकृती क्र. 21 मधील किरणाकृती मदत करते. कवडसा



आकृती 22 अ  
कवडश्यामध्ये उडताना  
दिसणारा पक्षी

म्हणजे चक्र - सूर्याची प्रतिमाच आहे.

समजा घरातील कवडशाकडे तुम्ही बघता आहात; त्यातून एक पक्षी आकृती 22 अ मध्ये दाखवलेल्या दिशेने जात असेल, तर नक्की ओळखा की, त्या पक्ष्याची प्रत्यक्ष उडण्याची दिशा उलट (विरुद्ध) आहे.

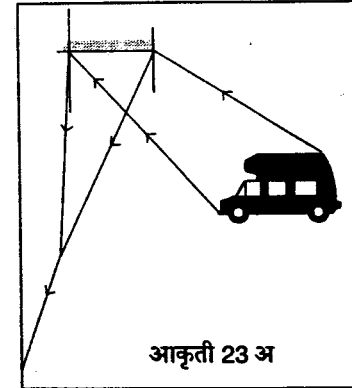


आकृती 22 ब

कवडशात मुळात जो पक्षी दिसला तो  $X_1$  या ठिकाणी आल्यावर किरण अडवला गेला; त्यामुळे त्याची सावली  $Y_1$  इथे पडली. नंतर तो  $X_2$  या ठिकाणी पोहोचला तेव्हा सावली  $Y_2$  कडे पोहोचली. जेव्हा तो पक्षी  $X_3$  कडे पोहोचला तेव्हा सावली  $Y_3$  कडे व शेवटच्या दाखवलेल्या बिंदूकडे अर्थात  $Y_4$  कडे सावली पोहोचली तेव्हा तो पक्षी  $X_4$  कडे असायला हवा.

पक्षी ज्या दिशेने जातो त्याच्याविरुद्ध दिशेने तो कवडशातून जाताना दिसतो; हे आपल्याला समजते ते किरणाकृतीमुळे.

समजा तुमच्याकडे एक 5 cm लांबीचा व 5 cm रुंदीचा



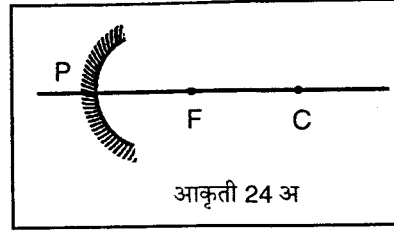
आकृती 23 अ

सपाट आरसा आहे. त्यातून तुम्ही 400 cm (4 m) लांबीची गाडी बघू शकाल का ? आकृती 23 मध्ये गाडीच्या पुढून व मागील टोकाकडून किरण आरशावर जातांना (आपाती किरण) दाखवले आहेत. या दोन किरणांचा होणार आपाती कोनही वेगळा आहे, व त्याप्रमाणे त्याचे परावर्तन होते. नंतर आरशावरून हे किरण परावर्तनाच्या नियमाने परावर्तित होतात व एका बिंदूत एकवटतात — तेथे डोळा असेल तर ती गाडी तिथे दिसेल.

यासाठी गाडी जास्त अंतरावर असायला हवी.

थोडक्यात किरणाकृतीने आपल्याला वस्तुस्थिती समजावून घ्यायला मदत केली.

## अंतर्वक्र आरशाच्या किरणाकृती :

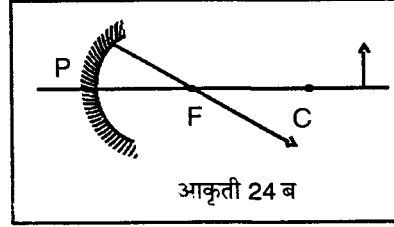


आकृती 24 अ

प्रथम मुख्य अक्ष काढावा. नंतर मुख्य अक्षावर C हा बिंदू (वक्रता केंद्र) घ्या व आपल्या सोयीप्रमाणे त्रिज्या घेऊन आकृती 24 अ मध्ये दाखवल्याप्रमाणे एक वर्तुळ चाप काढा. आकृती जर वहीच्या कागदावर काढणार असाल तर आकृती

24 अ प्रमाणे मुख्य अक्षाच्यावर दोन रेषा व खाली दोन रेषा एवढा हा चाप वाढवावा. हा आपला अंतर्वक्र आरसा. मुख्य अक्ष व आरशाचा छेदन बिंदू म्हणजे आरशाचा ध्रुव (P). ध्रुव (P) व वक्रता केंद्र (C) यांचा मध्यबिंदू म्हणजे मुख्य नाभी (F). ही मूलभूत आकृती आपल्याला प्रत्येक वेळी लागणार आहे.

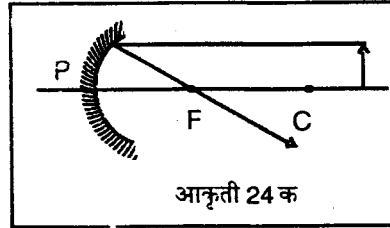
आता पदार्थ बाणाच्या स्वरूपात मुख्य अक्षावर उभा (लंब) काढावा.



आकृती 24 ब

आकृती 24 ब मध्ये पदार्थ वक्रता केंद्राच्या, 'C' च्या पलीकडे आहे. या बाणाच्या प्रत्येक बिंदूतून प्रत्येक दिशेने किरण जाताहेत. आरशाबाहेर जाणाऱ्या किरणांचा मुळीच विचार करू नका. त्यामुळे पहिला किरण हा नेहमीच

पदार्थाच्या वरील टोकाकडून मुख्य अक्षाला समांतर न्यावा. मुख्य अक्षाला समांतर

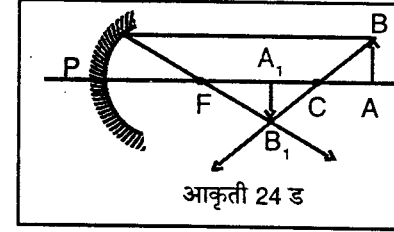


आकृती 24 क

असणारा किरण अंतर्वक्र आरशातील परावर्तनानंतर मुख्य नाभीतून जातो (आकृती 24 क पाहा) वक्रता केंद्रातून जाणारा कोणताही किरण त्याच मार्गाने परावर्तित होत राहाणार. त्यामुळे दुसरा किरण हा वक्रता केंद्रातून जाणारा घ्यावा.

(किंवा बाणाच्या वरच्या टोकापासून सुरुवात करून मुख्य नाभीतून नेऊन आरशापर्यंत न्या. इथून या किरणांचे परावर्तन होईल. परावर्तनानंतर हा किरण मुख्य अक्षाला समांतर जाईल) आधीचा मुख्य नाभीतून जाणारा किरण व हा वक्रता केंद्रातून जाणारा किरण हे जिथे छेदतील त्या ठिकाणाहून मुख्य अक्षावर लंब टाकावा. अशा

रितीने AB या पदार्थाची A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> ही प्रतिमा मिळाली.



आकृती 24 ड

वरील नियम वापरून, पदार्थ वक्रता केंद्रावर असताना, मुख्य नाभी व वक्रता केंद्रामध्ये पण वक्रता नाभीच्या जवळ, वक्रता केंद्र व मुख्य नाभी यांच्यामध्ये पण मुख्य नाभीच्या जवळ, मुख्य नाभीवर आणि आरसा व मुख्य

नाभीच्यामध्ये पदार्थ ठेवा व प्रतिमा मिळवा, व त्याचे कोष्टक बनवा.

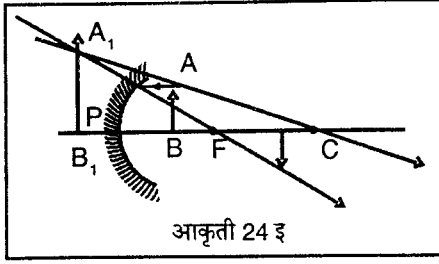
पदार्थाचे स्थान	प्रतिमेचे स्थान	प्रतिमेचे स्वरूप
पदार्थ आरशापासून खुपच दूर असताना		
पदार्थ 'C' च्या थोडासा बाहेर असताना		
पदार्थ 'C' वर असताना		
पदार्थ 'C' व 'F' च्या मध्ये असताना		
पदार्थ 'F' वर असताना		
पदार्थ 'F' व 'P' च्या मध्ये असताना		

— प्रतिमेचे स्वरूप लिहिताना प्रतिमा मूळ पदार्थापेक्षा लहान, मोठी की तेवढीच आहे ?

— मूळ पदार्थाच्या उलट आहे का ? मूळ पदार्थाप्रमाणे सरळच आहे का ?

— वास्तव आहे की काल्पनिक ? या तीन मुद्यांचा विचार केला जातो.

प्रतिमा जेव्हां पडद्यावर घेता येते, त्याला वास्तव प्रतिमा म्हणतात. जी प्रतिमा पडद्यावर घेता येत नाही त्या प्रतिमेला काल्पनिक प्रतिमा म्हणतात.

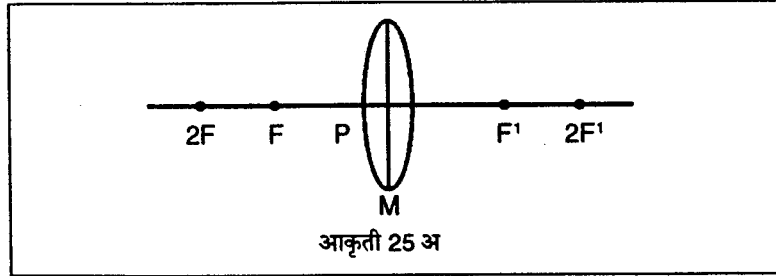


आकृती 24 इ मध्ये पदार्थ अंतर्वक्र आरशाच्या F व C मध्ये ठेवला आहे. अशा वेळी मुख्य अक्षाला समांतर किरण परावर्तनानंतर 'F' मधून जातो तर दुसरा किरण 'C' मधून. हे दोन्ही किरण एकमेकांपासून दूर जातात.

त्यामुळे या किरणांना मागील बाजूने वाढवावे लागते. त्यांच्या छेदनातून  $A_1B_1$  ही प्रतिमा सरळ, मोठी, परंतु काल्पनिक मिळते. ही प्रतिमा पडद्यावर घेता येत नाही.

बहिर्वक्र आरशासमोर वरीलप्रमाणे निरनिराळ्या ठिकाणी पदार्थ ठेवून प्रतिमा मिळवा व तक्ता पूर्ण करा.

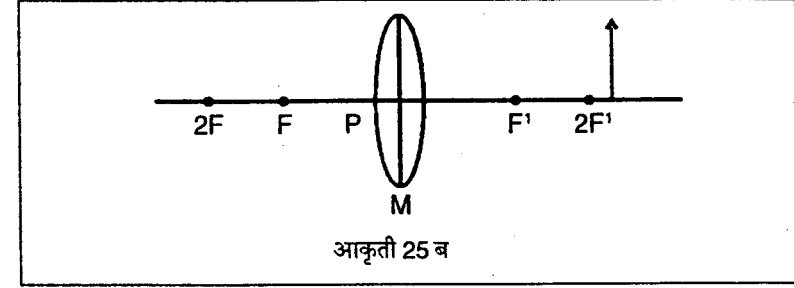
भिंगांच्या किरणाकृतीत, भिंगे पारदर्शक असल्याने प्रतिमा मिळवायला दुसऱ्या बाजूने पडदा ठेवावा लागतो.



आकृती 25 अ

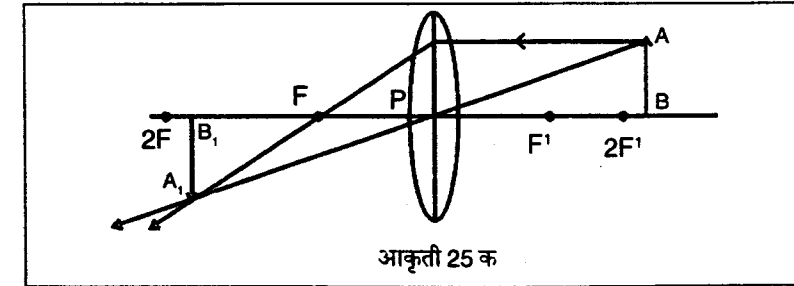
प्रथम मुख्य अक्ष काढा. त्याच्या मध्याशी 'P' बिंदू काढा. या 'P' बिंदूतून मुख्य अक्षाला लंब असणारी रेषा काढा व या रेषेच्या दोन्ही बाजूंनी थोडा फुगीरपणा देऊन भिंग काढा. भिंगाला फुगीरपणा देण्यासाठी कोनमापकाचा मध्यबिंदू व मध्यरेषा (90°) मुख्य अक्षावर ठेवा व कोनमापकाचा वर्तुळचाप मुख्य अक्षाला लंब असणाऱ्या रेषेला खालून व वरून जुळेल असा ठेवून, कोनमापकाच्या साहाय्याने आकृती काढा. नंतर आकृती 25 अ मध्ये दाखवल्याप्रमाणे F व  $F_1$  हे बिंदू P पासून मुख्य अक्षावर  $P_1$  च्याविरुद्ध बाजूला समान अंतरावर घ्या (भिंगाला दोन्ही बाजूंनी सारख्याच अंतरावर नाभी असतात); तसेच F च्या पलीकडे  $2F$  व  $F_1$  च्यापलीकडे हे बिंदू घ्या. आरशात पदार्थ जसा बाणाने दाखवला आहे तसाच इथे पदार्थ बाणाने

$2F_1$  च्या थोडासा पलीकडे घ्या (आकृती 25 ब पाहा)



आकृती 25 ब

'AB' या पदार्थाकडूनही अनेक किरण बाहेर पडत असतात. त्यातही जे किरण भिंगावर पडतात व मुख्य अक्षाला समांतर असतात. आणि जे किरण पदार्थापासून मुख्य नाभीतून जातात (मुख्य नाभीतून जाणाऱ्या किरणांचे परिणामी अपवर्तन होत नाही), असेही असंख्य किरण आहेत; त्यामुळे फक्त पदार्थाच्या वरच्या टोकाकडून मुख्य अक्षाला समांतर असा किरण भिंगाच्या मध्याच्या रेषेपर्यंत न्यावा (यासाठी आ. 17 (ब, क, ड, इ) प्रमाणे स्पर्शिका व स्तंभिका घेऊन किरण काढायची गरज नाही) व तेथून तो अपवर्तनानंतर वळवून थेट मुख्य नाभीतून न्यावा. दुसरा किरण पदार्थाच्या वरच्या टोकाकडून भिंगाच्या मध्यातून (P मधून) जाऊ द्यावा.



आकृती 25 क

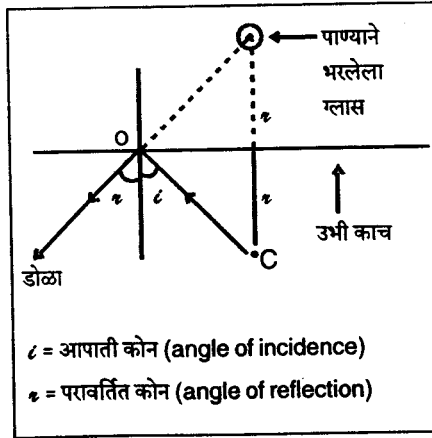
जिथे हे दोन किरण एकमेकांना छेदतात तेथून मुख्य अक्षाला लंब टाकावा. हा लंब  $A_1B_1$  म्हणजे प्रतिमा. ही प्रतिमा F व  $2F$  च्यामध्ये असून उलट आहे व वास्तव आहे (पडद्यावर मिळवता येते) ही प्रतिमा मूळ पदार्थापेक्षा लहानही आहे.

\* पदार्थ  $2F_1$  च्यापलीकडे खूप अंतरावर,  $2F_1$  वर  $2F_1$  व  $F_1$  च्यामध्ये (पण  $2F_1$  च्याजवळ),  $2F_1$  व  $F_1$  मध्ये ( $F_1$  च्याजवळ),  $F_1$  वर

आणि भिंग व  $F_1$  च्यामध्ये ठेवा, त्याच्या प्रतिमा मिळवा व अंतर्वक्र भिंगासाठी जमवलेली माहिती मिळवा व तक्ता पूर्ण करा.

\* अंतर्वक्र आरशासंदर्भात पूर्वी केलेला प्रयोग क्र. 8 व बहिर्वक्र भिंगासंदर्भातील प्रयोग क्र. 22 मधील तुम्ही तयार केलेल्या तक्त्यातील माहितीचा, आणि या ठिकाणी (किरणाकृतीतून) तयार केलेले तक्ते यांचा तुलनात्मक अभ्यास करा.

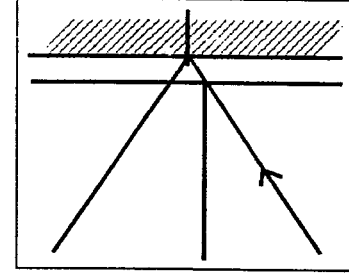
प्रकाशाचे परावर्तन व अपवर्तन यांचा अभ्यास हा भौमितिक प्रकाश विज्ञान (geometric optics) म्हणून ओळखला जातो, कारण तो समजावून घेण्यात भूमितीचा फार मोठा वाटा आहे. भूमिती आणि भौमितिक आकृत्या यांच्याशिवाय परावर्तन, अपवर्तन यांसारख्या गोष्टी आणि त्यांच्यावर अवलंबून असणारी प्रकाशीय उपकरणे समजावून घेता येणार नाहीत. प्रयोग क्र. 1 मध्ये मेणबत्ती पाण्यात जळताना दिसते. पाण्याचा ग्लास काचेपासून दूर न्या किंवा काचेजवळ आणा, मेणबत्तीची प्रतिमा आहे त्या ठिकाणीच असते. अगदी ग्लास काढून टाकला तरी मेणबत्तीची ज्योत तिकडेच असते, म्हणजे ती तिची आरशातील प्रतिमा. समजा, ग्लासच्या ठिकाणी तुमच्या मित्राने आपले तोंड नेऊन उघडले, तर ती ज्योत त्याच्या तोंडात जळताना दिसेल.



आपण मेणबत्तीच्या बाजूने, काचेतून पलीकडे पाण्याने भरलेल्या ग्लासकडे पाहतो. तेव्हा तेथून एक किरण आपल्या डोळ्यांपर्यंत येतोच; पण ग्लासचा मध्य व मेणबत्ती यांच्या मध्याशी काच उभी असून, ग्लासचा मध्य व मेणबत्ती यांना सांधणाऱ्या रेषेला ही उभी काच लंब (काटकोनात) आहे. मेणबत्तीकडून येणारे अनेक किरण काचेवर विविध

ठिकाणी पडताहेत; पण त्यातला एक किरण नेमका काचेवरून अशा बिंदूतून परावर्तित होतो की, जिथे नेमका पाण्याने भरलेल्या ग्लासपासून येणारा किरण आहे. ग्लास व मेणबत्ती यांतील समान अंतरामुळे मेणबत्तीचा परावर्तित किरण आणि ग्लासपासून

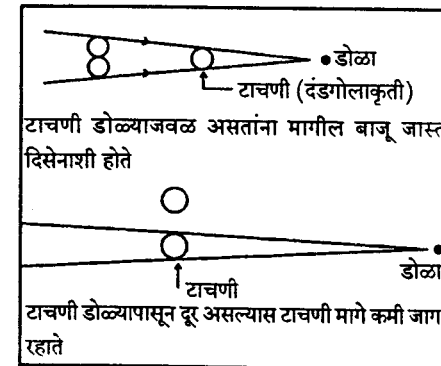
डोळ्यांत येणारे किरण एकत्र येतात. इथे आपाती कोन व परावर्तित कोन सारख्याच मापाचे असल्याचेही लक्षात येते (प्रयोग क्र.3 प्रमाणे). प्रयोग क्र. 2 मध्येही प्रयोग क्र. 1 प्रमाणेच एका दाभणामागे दुसरे दाभण सारख्याच अंतरावर आहे आणि त्यामुळे पांढऱ्या दाभणावर लाल दाभण दिसते. अगदी त्यांच्या जाडीतही त्यामुळेच फरक पडत नाही.



अशा प्रकारे आणखीन काही प्रयोग विकसित करता येतील. उदा. काचेपुढे पिवळा दुधी दिवा (विजेचा) लावला व मागे निळा दुधी दिवा लावला तर परावर्तनानंतर (एकत्रीकरणानंतर) दिव्याचा रंग हिरवा दिसतो का ते पाहणे मनोरंजक आहे. (अर्थात त्यासाठी दिव्याची प्रखरता कमी-अधिक करणारे रेग्युलेटर

असणे आवश्यक आहे.) परावर्तनाच्या प्रयोगात काही त्रुटी येतात. आपण साध्या प्रयोगात वापरतो तो आरसा थोडा जाड असतो. त्या आरशाचा परावर्तित पृष्ठभागमात्र मागे असतो. त्यामुळे आधी काचेतून अपवर्तन होते मग परावर्तन आणि पुन्हा अपवर्तन. काच 2m एवढी जाड किंवा त्यापेक्षा पातळ असल्यास ही त्रुटी घालवता येईल. पुढच्या पृष्ठभागावरून परावर्तन करणारे आरसेही (front reflecting) मिळू शकतात.

आरसा उभा करताना जर तो टेबलाच्या प्रतलाशी लंब नसेल तर कित्येकदा टाचणीचे तळ (रोवलेली जागा) आरशातून दिसत नाहीत. टाचण्या एका रेषेत आहेत की नाहीत, हे दुरून पाहणे आवश्यक आहे कारण जवळून पहिल्यास टाचणीच्या मार्गील मोठी जागा दिसेनाशी होते व त्यात कुठेही दुसरी टाचणी रोवली तरीही ती



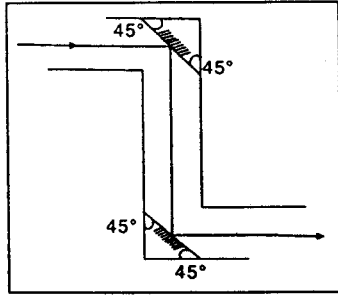
मागे सहज लपेल हे आकृतीवरून स्पष्ट होईल. यातून त्रुटी आणखी वाढते.

परावर्तनामध्ये (1) स्तंभिका, आपाती किरण व परावर्तित किरण एकाच प्रतलात असतात. (आरसा टेबलाच्या प्रतलाला लंब नसेल तर परावर्तित

किरण शोधणे कठीण होते.) (2) आपाती किरण व परावर्तित किरण स्तंभिकेच्या विरुद्ध बाजूला असतात; आणि (3) आपाती कोन व परावर्तित कोन यांचे माप सारखेच असते. (4) सपाट आरशातील पदार्थाची प्रतिमा आरशामागे सारख्याच अंतरावर असते.

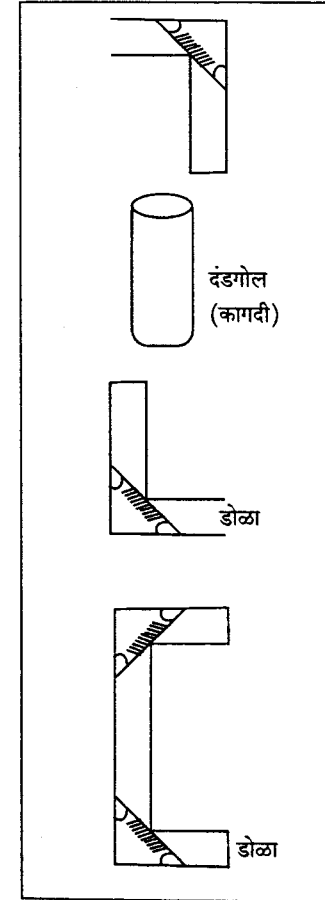
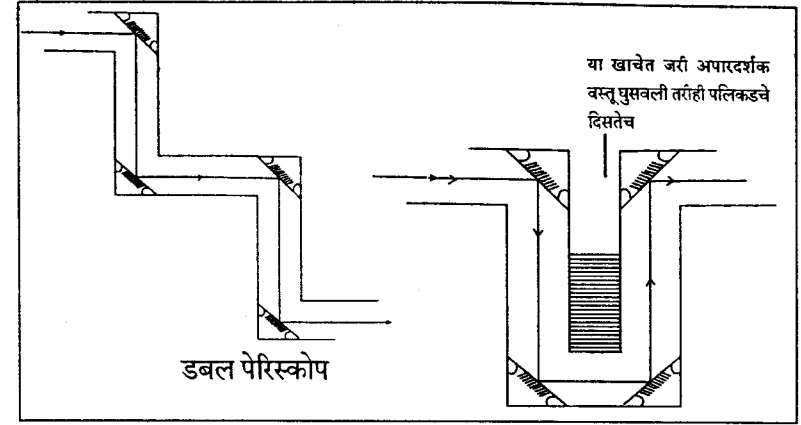
एखाद्या रस्त्यावरून बस जाते आहे. आणि अगदी समोरूनच बसच्या काचेवर सूर्याचे किरण पडताहेत. त्याचा कवडसाही (परावर्तित किरण) रस्त्यावरच पडला आहे, आणि अशा परिस्थितीत समजा बस वळली तर बसपेक्षाही जास्त वेगाने हा किरण वळतो. प्रयोग क्र.4 मध्ये आपाती किरण मूळचाच ठेवून आरसा  $x$  अंशातून वळवल्यास परावर्तित किरण त्याच्या दुप्पट कोनातून म्हणजे  $2x$  मधून वळतो. प्रयोग क्र.5 मधील गुणित प्रतिमा या सूत्रात चपखल बसतात. हवे तर पडताळून पहा.

शोभादर्शक किंवा कॅलिडोस्कोपमध्ये तीन सपाट आरसे  $60^\circ$  च्या कोनात बसवतात व त्यात काही वस्तू (शक्यतो बांगड्यांचे तुकडे) ठेवतात. एक टोक दुधी काचेने किंवा चांगल्या दर्जाच्या ट्रेसिंग पेपरने बंद करतात; म्हणजे त्यातून प्रकाश येतो व आतील वस्तू प्रकाशित होते. येथे  $60^\circ$  च्या कोनातील आरशाने आधीच 5 प्रतिमा प्रत्येक आरशातून मिळतात. दुसऱ्या आरशामुळे या प्रतिमांचे पुन्हा-पुन्हा परावर्तन होते व छान दृश्य बघायला मिळते. इतर कोणत्याही कोनातून आरसे ठेवले तरी ही मजा येत नाही.



पेरिस्कोप हे सपाट आरशांच्या सहाय्याने बनवलेले एक सोपे उपकरण. आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे दोन आरसे एकमेकांना समांतर असून, बाजूच्या भिंतींना हे आरसे  $45^\circ$  च्या कोनात बसवले आहेत. त्यांच्या रचनेमुळे आपोआपच बाहेरून येणाऱ्या किरणाचा आपाती कोन  $45^\circ$  व साहजिकच परावर्तित कोनही  $45^\circ$  चा होतो. त्यामुळे मूळ किरण पहिल्या आरशातून  $90^\circ$  कोनातून वळतो व दुसऱ्या आरशातूनही  $90^\circ$  तून वळतो. साहजिकच आपल्याला दुसऱ्या पातळीतील वस्तू पाहायची असल्यास त्याचा उपयोग होतो. हे पेरिस्कोप यंत्र पाणबुडीत पाण्याच्या पातळीखालून पाण्यावरच्या भागातील हालचाली बघायला वापरले जाते.

पेरिस्कोपमध्ये इतरही गमती करता येतील.



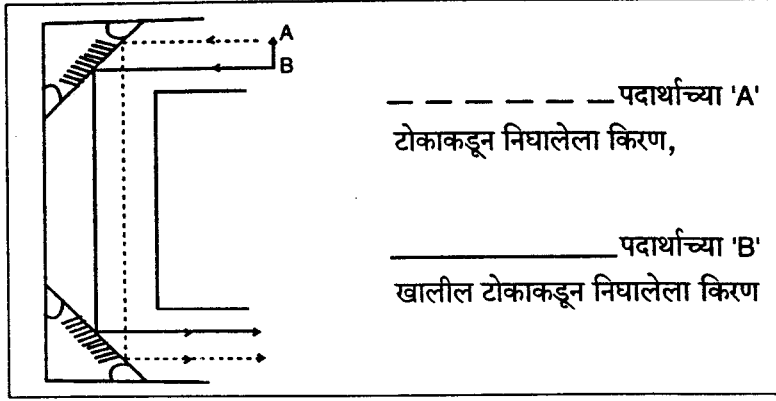
कुणालला फिरता पेरिस्कोप करायचा होता. त्याचा खालील भाग स्थिर राहिल व वरील भाग फिरेल असा. त्यासाठी एका साध्या पेरिस्कोपचे त्याने दोन भाग केले. (किंवा ते बनवतानाच तसे बनवायला हरकत नाही.)

उभ्या भागात त्याने एक कागदाचा जाड दंडगोल बाजूच्या भिंतींना गच्च बसेल अशारितीने बसवला.

आता तो आपल्या मागील वस्तू पाहू लागला. आश्चर्य म्हणजे त्याला मागील वस्तू उलट्या दिसू लागल्या.

कुणालने त्याचे कारणही शोधले. किरणाकृतीच्या योग्य वापराने हे कारण सहज शोधता येते. ते खालील आकृतीने स्पष्ट होते.





गोलीय आरशातील परावर्तन हे मुळात सपाट आरशाप्रमाणेच होते (म्हणजे जेवढा आपाती कोन तेवढाच परावर्तित कोन). त्यांच्यामधील स्तंभिका म्हणजे वक्रता त्रिज्या होय. सपाट आरशात अत्यंत दूरवरून पदार्थ आरशाच्याजवळ आणताना सुरुवातीला प्रतिमा अत्यंत लहान (अति दूर असताना बिंदुवत प्रतिमा) असते ती हळू हळू मोठी होत जाते. ती उलट व वास्तव प्रतिमा आहे. वक्रता केंद्रावर पदार्थ असतांना त्याची प्रतिमा वक्रता केंद्रावरच आकाराने तेवढीच, उलट व वास्तव असते. पदार्थ वक्रता केंद्र व मुख्य नाभी यांच्यामध्ये असताना प्रतिमा वक्रता केंद्रापलीकडे उलट व मोठी बनते. मुख्य नाभीवर पदार्थ असताना किरण जवळजवळ समांतर जातात म्हणजे प्रतिमा अनंत अंतरावर मिळेल; तर आरसा व मुख्य नाभी यांच्यामध्ये पदार्थ असताना त्याची प्रतिमा आरशामागे, सरळ व मोठी, काल्पनिक असते. प्रतिमा सरळ व बरीच मोठी असल्याने ही स्थिती दाढी करताना वापरली जाते. आपला चेहरा हा अंतर्वक्र आरशाजवळ नेल्यास आपल्या चेहऱ्यावरील बरेच बारकावे कळतात.

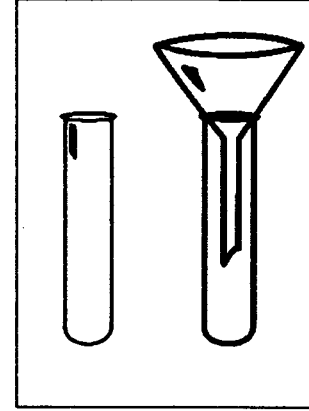
मोठाल्या अंतर्वक्र आरशात, मुख्य नाभीशी विजेचा दिवा लावल्यास त्यातून प्रकाश किरण समांतर जातात. या तत्त्वाचा शोधक दीपा (search light) मध्ये वापर केला जातो. गाड्यांचे परावर्तकही असेच कार्य करतात. सूर्यचुलीसाठी असे मोठ्या आकाराचे परावर्तक बनवले गेले आहेत.

बहिर्वक्र आरशातून प्रतिमा कायमच काल्पनिक असते. ती नेहमीच सरळ आणि मुख्य नाभी व आरशाच्या मध्ये असते.

या आरशातून मोठ्या प्रमाणावरील क्षेत्र एका दृष्टिक्षेपातून लक्षात येते. तसेच,

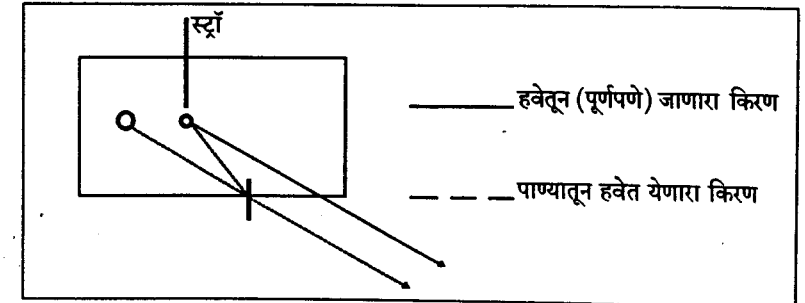
रस्त्यावरील दिव्यांचा प्रकाश मोठ्या प्रमाणावर पसरवा म्हणूनही याचा वापर केला जातो.

अंतर्वक्र व पॅराबोलॉइडल आरशांचा खरा वापर हा परावर्तक प्रकारची दुर्बीण बनवण्यासाठी होतो. मोठ्या भिंगापेक्षा मोठे अंतर्वक्र किंवा पॅराबोलॉइडल आरसे बनवणे जास्त सोपे असते. मोठ्या क्षेत्रफळाच्या गोलीय आरशांमुळे किंवा भिंगांमुळे मोठ्या प्रमाणावर ग्रह ताऱ्यांपासून येणारा प्रकाश जास्त स्वरूपात मिळवता येतो व त्यामुळे जास्त माहिती मिळते.



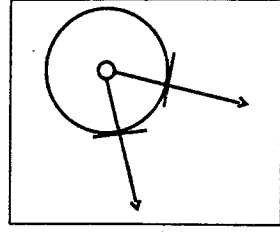
एकदा पाऊस पडत असताना दोन मित्रांची स्पर्धा होते. परीक्षा नळीत जास्त वेगाने पावसाचे पाणी जो जमा करील तो विजेता. त्यातील एकाने परीक्षा नळी नुसतीच पावसात धरली तर दुसऱ्याने परीक्षा नळीवर मोठे फनेल (नरसाळे) ठेवले; म्हणून तो जास्त क्षेत्रफळातील पाऊस पकडू शकला. खगोलीय दुर्बिणींनीही जास्त प्रकाश मिळवणे गरजेचे असते, आणि म्हणून शक्य तेवढा मोठा अंतर्वक्र आरसा केला जातो.

प्रयोग - 10 मध्ये पाण्याच्या पृष्ठभागाशी स्ट्रॉ तुटलेली वाटते. याचे कारण खालील आकृतीच्या साहाय्याने पाहू.

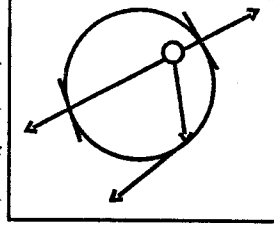


स्ट्रॉचा काही भाग हवेत आहे. हवेतून येणारा किरण माध्यम बदल नसल्याने सरळ रेषेतून आपल्या डोळ्यांपर्यंत येतो, तर, पाण्यातून हवेत येणारा किरणमात्र x बिंदूशी वळतो. पाण्यातून (घन पदार्थातून) बाहेर येताना तो स्तंभिकेपासून दूर वळतो.

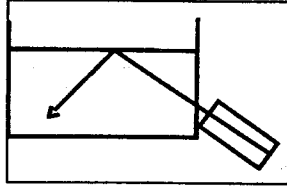
हा किरण दुसऱ्याच दिशेने आपल्या डोळ्यात येतो आणि त्यामुळे स्ट्रॉ पाण्याच्या पृष्ठभागाशी तुटलेली वाटते.



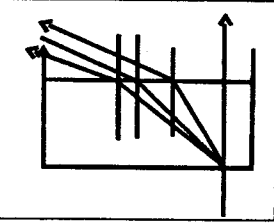
प्रयोग - 13 मध्ये जेव्हा ग्लासच्या मध्याशी स्ट्रॉ आहे, तेथून जे किरण ग्लासच्या बाहेर येतात ते नेहमीच स्तंभिकेच्या दिशेत असतात.



स्तंभिकेवरील (स्तंभिकेच्या दिशेत असणाऱ्या) किरणांचे अपवर्तन होत नाही म्हणून स्ट्रॉ तुटलेली दिसत नाही, तर स्ट्रॉ जर पाण्याच्या (दंडगोलाकृती ग्लासच्या) मध्याशी नसेल तर फक्त दोनच किरण (परस्परविरुद्ध) स्तंभिकेच्या दिशेत जातील, इतर किरण जाणार नाहीत. त्यांचे अपवर्तन होईल.

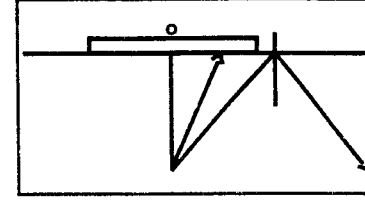


प्रयोग 19 मध्ये पाण्याच्या पृष्ठभागावरून किरण आश्चर्यकारकपणे पाण्यात पुन्हा वळतात आणि वळताना ते परावर्तनाचे नियम पाळतात. ही प्रक्रिया, किरण घन माध्यमातून विरळ माध्यमात जातानाच घडते.

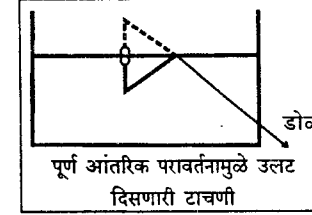


क्रमाने पाहिल्यास घन माध्यमातून विरळ माध्यमात जाताना प्रकाश किरण स्तंभिकेपासून दूर वळतो. आपाती कोनापेक्षा अपवर्तित कोन जास्त असतो. एक स्थिती अशी येते की, अपवर्तित किरण चक्क पाण्याच्या पृष्ठभागावरून जातो. अशा वेळेच्या आपाती कोनाला क्रांतिक कोन (critical angle) म्हणतात. क्रांतिक कोनापेक्षा जर का आपाती कोन वाढला तर मात्र, किरण पाण्यात वळतात. या प्रक्रियेला पूर्ण आंतरिक परावर्तन (Total internal reflection) म्हणतात.

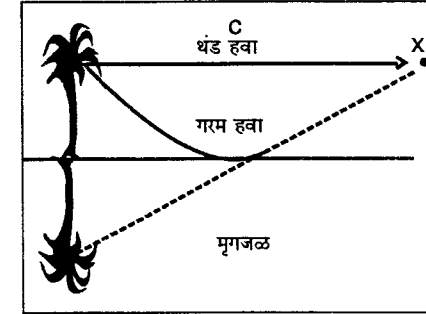
प्रयोग - 20 मधील टाचणी न दिसायच कारणही पूर्ण आंतरिक परावर्तनच आहे.



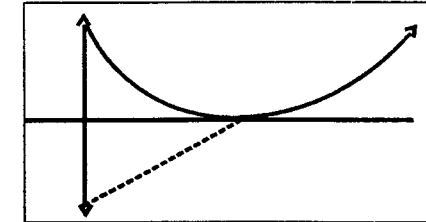
डबीचे झाकण अपारदर्शक आहे, आणि त्यामुळे किरण त्यातून बाहेर पडू शकत नाहीत. या किरणांचा आपाती कोन क्रांतिक कोनापेक्षा कमी आहे. झाकणापलीकडच्या किरणांचा आपाती कोन हा क्रांतिक कोनापेक्षा जास्त आहे, त्यामुळे त्याचे पूर्ण आंतरिक परावर्तन होते.



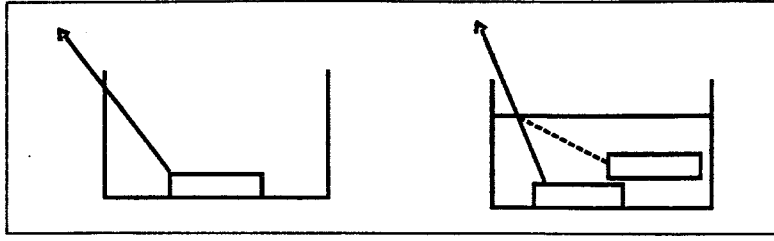
सुरुवातीला प्रयोग क्र. 20 हा अपारदर्शक टबमध्येच करावा व समजल्यानंतर फिश टॅंकमध्ये करावा व आता फिश-टॅंकच्या खालून वर बघावे. टाचणी पाण्याच्या पृष्ठभागावर उलट दिसते.



अपवर्तनामुळे परिसरात अनेक वैशिष्ट्यपूर्ण घटना घडत असतात. जोपर्यंत अशा घटनांमागील वैज्ञानिक कार्यकारणभाव आपल्याला माहित नसतो तोपर्यंत आपल्याला ते चमत्कार वाटतात. निसर्गात किंवा घडणाऱ्या कोणत्याही घटनेत गूढ असे काहीच नसते. प्रत्येक घटनेमागे काही-ना-काही कारणमीमांसा ही असतेच. मृगजळ हा असाच एक प्रकार जमीन खूप

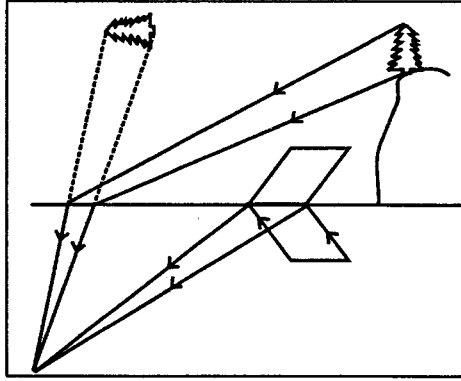


तापल्याने हवा गरम होऊन वर जाते. त्यामुळे हवेचे वेगवेगळ्या घनतांचे धर तयार होतात. त्यामुळे झाडाच्या टोकांपासून येणारे किरण पुढील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे टप्प्याटप्प्याने अपवर्तित होत जातात. शेवटी क्रांतिक कोन गाठल्याने ते परत उलट हवेकडे वळतात. पण, निरीक्षकासाठी हे किरण जमिनीकडून येतात आणि त्यामुळे त्या झाडाची प्रतिमा ही तळ्यातील पाण्यातून आल्याचा भास होतो.



वाटीत पाणी नसताना वाटीतील नाणे आपल्याला सहज दिसते. पण पाणी भरल्यावर मात्र अपवर्तनामुळे ते वर आल्यासारखे वाटते.

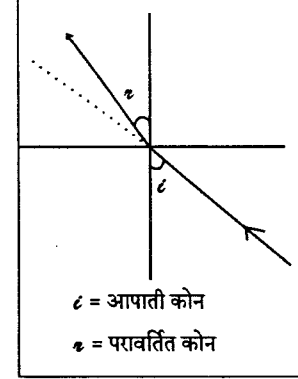
एखाद्या माशाला आपल्यावरील पोहणारा माणूस व तळ्याकाठच्या



टेकडीवरील माणूस कसा दिसेल हे सोबतच्या आकृतीवरून स्पष्ट होते. पोहणारा माणूस चक्र पाण्याबाहेर (या विशिष्ट स्थितीतच) आहे, तर झाड आडवे वाटेल.

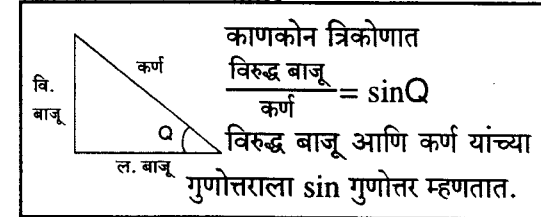
## ४ अपवर्तनाचे मोजमाप :

प्रत्येक पदार्थातून वेगवेगळ्या प्रमाणावर अपवर्तन होते हे आपल्या लक्षात आलेले असेलच. म्हणजे अपवर्तनाचेही काही मोजमाप करणे आवश्यक आहे. परावर्तनात आपाती कोन व परावर्तित कोन सारखेच असल्याने अशा मोजमापाची आवश्यकता नव्हती.

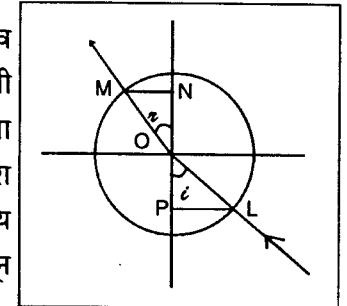


प्रयोग क्र. 11 मधील आकृती क्र.9 ब मिळवा. तेथील फक्त हवेतून काचेत येणारा व पुढे जाणारा किरण आपल्याला विचारासाठी (तुलनेसाठी) हवा आहे. आपाती कोन व परावर्तित कोन यांचे गुणोत्तर नेहमीसारखेच येते का ते पाहा. यासाठी प्रयोग क्र. 11 मध्ये आपण तयार केलेल्या कोष्टकाचा वापर करा. हे गुणोत्तर जर सारखेच येत असते तर प्रश्न नव्हता. आणि म्हणून आपाती कोनाचे साइन (sine) गुणोत्तर आणि अपवर्तित कोनाचे साइन (sine) गुणोत्तर यांचे गुणोत्तर काढतात.

$$\text{थोडक्यात अपवर्तनांक} = \frac{\sin i}{\sin r}$$



हे मिळवण्यासाठी आपाती किरण व अपवर्तित किरण प्रयोगाने मिळवलेली आकृती क्र.9ब ची फक्त हवेतून काचेत प्रवेश करणाऱ्या किरणाची आकृती घ्या. 'O' (ज्या बिंदूत प्रकाश किरण चिपेत/काचेत प्रवेश करतो तो बिंदू) मध्य मानून एक वर्तुळ काढा. L या छेदन बिंदूतून



स्तंभिकेवर लंब टाका. हा लंब 'P' बिंदूत पडतो. तसेच, M वरून स्तंभिकेवर टाकलेला लंब N बिंदूत पडतो. OPL व OMN हे दोन काटकोन त्रिकोण आहेत.

$$\text{त्रिकोण OPL मध्ये } \sin i = \frac{PL}{OL}$$

$$\text{तर त्रिकोण OMN मध्ये } \sin r = \frac{MN}{OM}$$

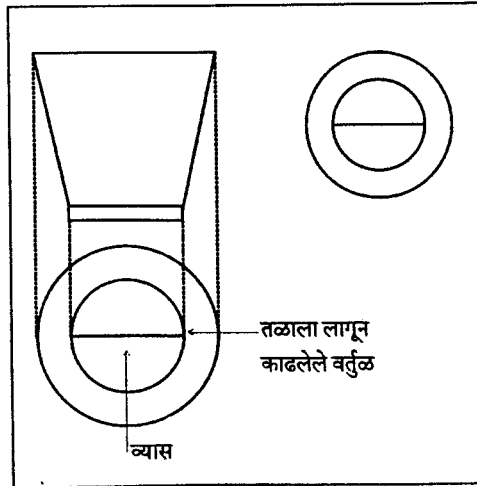
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\frac{PL}{OL}}{\frac{MN}{OM}} = \frac{PL}{OL} \times \frac{OM}{MN}$$

OL = OM (एकाच वर्तुळाच्या त्रिज्या)

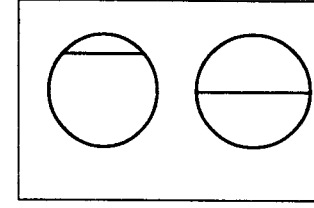
$$\therefore \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{PL}{MN}$$

अपवर्तनांक शक्यतो रोमन  $\mu$  म्यु अक्षराने दाखवतात  $a\mu g$  चा अर्थ हवेतून काचेत प्रवेशताना - म्हणजे काचेचा हवेसापेक्ष अपवर्तनांक. जर अपवर्तनांकाचा प्रयोग पाण्यात केला असता तर हा निश्चित वेगळा आला असता. मग त्याला आपण  $w\mu g$  असे म्हटले असते.

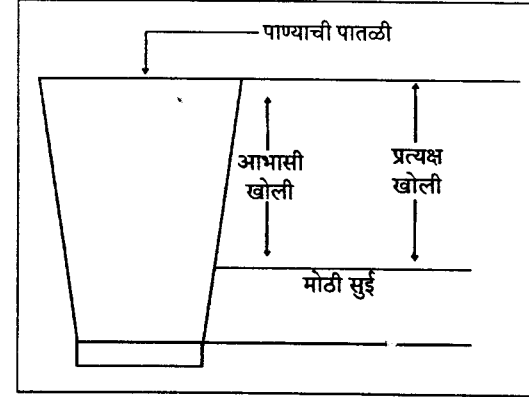
आणखीन एका सोप्या पद्धतीने द्रवपदार्थाचा अपवर्तनांक काढता येईल.



त्यासाठी एक थर्मोकोलचा ग्लास घ्या. ग्लासच्या आतून तळाशी, अगदी तळाच्या कडेला लागून बॉलपेनने एक वर्तुळ काढा. या वर्तुळाचा व्यास काढा. नंतर एका मोठ्या कागदावर सरळ रेषा काढा व त्या सरळ रेषेवर आपल्या ग्लासच्या तळाशी असणारा व्यास अचूक ठेवा. व्यास व कागदावरील रेषा एकाच दिशेत



असल्याची खात्री करून घ्या. आता ग्लासमध्ये पूर्णपणे पाणी भरा. आता ग्लासमध्ये वरून अचूक पाहिल्यास आतील व्यास व रेषा एकाच रेषेतील वाटतात. पण रेषेच्या थोडे वरून किंवा खालून पाहिल्यास ही रेषा कागदावरील रेषेच्या दिशेत राहत नाही.



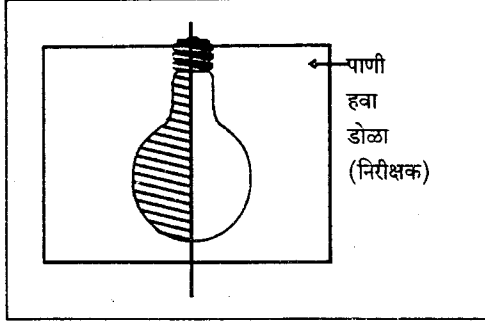
आता एक मोठी सुई घ्या. आपल्या कागदावरील संदर्भ रेषेवर, रेषेला समांतर ग्लासला लावून धरा. वरून सातत्याने पाहत राहा. रेषेच्या वर-खाली (पुढे-मागे) करून पाहा. ज्या ठिकाणी सुई आणि आतील रेषा

(कितीही पुढे-मागे हलवून पाहिले तरी) एकाच रेषेत वाटतात. तिथे ग्लासला खूप करा. ग्लासमधील पाण्याची प्रत्यक्ष खोली मिळवा. आता पाण्याचा अपवर्तनांक

$$a\mu_w = \frac{\text{प्रत्यक्ष खोली}}{\text{आभासी खोली}}$$

कोणत्याही द्रवपदार्थाचा (अगदी घनपदार्थाचादेखील) अपवर्तनांक प्रत्यक्ष खोली : आभासी खोलीने काढता येतो.

प्रयोग - 14 मधील विजेच्या दिव्यात पाणी भरल्यानंतर त्याच्या आतील भाग जास्त घन होतो व बाहेरील भाग (हवा) विरळ असतो. तसेच दिव्याच्या गोलाईमुळे प्रत्येक ठिकाणी त्याची स्तंभिका वेगळ्या कोनात आहे. त्यामुळे पाणी भरलेला दिवा हा बहिर्वक्र भिंगाप्रमाणे कार्य करतो. खूप गोलाईमुळे त्याचे नाभीय अंतर कमी (3 ते 5 cm) असते. पण हाच विजेचा दिवा जेव्हा आपण पाण्यात बुडवतो (त्यात पाणी असताना) तेव्हा त्याच्या आतील व बाहेरील अशा दोन्ही माध्यमाची घनता तीच होते व अपवर्तन होत नाही व पाणी भरलेला दिवा पाण्याखाली



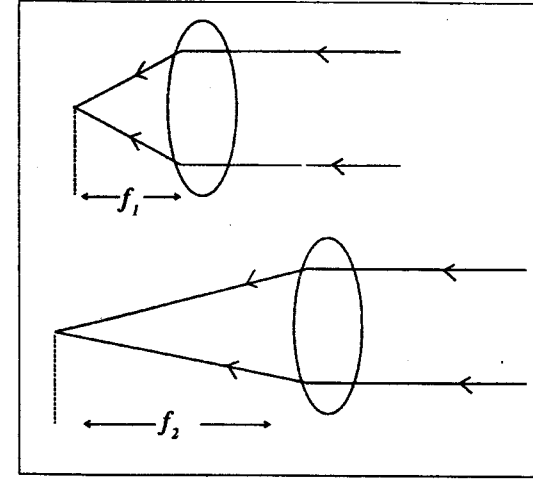
भिंग म्हणून वापरता येत नाही. पण पाणी भरलेला दिवा केरोसीनमध्येमात्र बहिर्वक्र भिंग म्हणून वापरता येईल, तर केरोसीन भरलेला दिवा पाण्यात अंतर्वक्र भिंग होईल (कारण आतील घनता कमी व बाहेरील घनता जास्त);

तसेच रिकामा दिवाही पाण्याखाली एका अंतर्वक्र भिंगाप्रमाणे कार्य करतो. या रिकाम्या दिव्यात तो पाण्याखाली असताना पाहिल्यास दिव्याच्या मध्याशी चक्र आणखीन एक दिवा दिसतो. अंतर्वक्र भिंगातून प्रकाश किरण फाकले जातात. त्यामुळे दिव्याच्या विरुद्ध बाजूचा भागच आपल्याला लहान होऊन दिसतो.

पाणी भरलेल्या पारदर्शक ग्लासला टेकवून जर बाणाची आकृती असलेले कार्ड सरकवले तर बाणाची दिशा सरकवण्याच्या दिशेतच असते. पण ग्लासपासून कार्ड काही अंतरावर नेऊन जर हा प्रयोग केला तर (नाभीय अंतरापलीकडे हा पदार्थ - बाण जातो आणि नाभीय अंतरापलीकडील पदार्थाची प्रतिमा नेहमीच उलट असते - आपणच प्रयोग-22 मध्ये बनवलेले कोष्टक पाहा) मात्र हा बाण उलट दिशेने जाताना दिसतो. प्रयोग - 17 मध्ये काचकाडी 4 ते 5 cm दूर धरल्यामुळे इंग्रजी मुळाक्षरे ही त्याच्या नाभीय अंतरापलीकडे जातात. नाभीय अंतरापलीकडील पदार्थाच्या प्रतिमा नेहमीच उलट असतात हे आपण पाहिले आहे. प्रत्यक्षात सर्वच मुळाक्षरे उलट होतात; पण ज्यांना उभा सममितीचा अक्ष आहे अशी मुळाक्षरे सरळ व उलट सारखीच दिसतात. समजा सर्व मुळाक्षरे आपण वरचा अर्धा भाग निळ्या शाईने व खालचा भाग लाल शाईने अशी लिहिल्यास सर्व मुळाक्षरे उलट होतात हे समजेल.

### भिंगांची शक्ती :

समजा, दोन बहिर्वक्र भिंगे दिली आहेत आणि आपल्याला कोणाची शक्ती जास्त हे काढायचे आहे, अशा वेळी दोन्ही भिंगांतून दूरवरच्या पदार्थाच्या (शक्यतो खिडकीतून पलीकडच्या प्रकाशित पदार्थाच्या) प्रतिमा भिंतीवर घेऊन दोघांचेही



नाभीय अंतर मोजता येते. ज्या भिंगाचे नाभीय अंतर कमी त्या भिंगाची शक्ती जास्त तर ज्या भिंगाचे नाभीय अंतर जास्त, त्याची शक्ती कमी. नाभीय अंतर कमी याचाच अर्थ किरण जास्त वाकवलेत, तर नाभीय अंतर जास्त याचा अर्थ किरण कमी प्रमाणात

वाकवले असा होतो.

म्हणजे भिंगाचे नाभीय अंतर कमी याचा अर्थ त्याची (किरण वाकवण्याची) शक्ती जास्त. म्हणजेच शक्ती व नाभीय अंतर यांचे प्रमाण व्यस्त आहे.

$$\text{भिंगाची शक्ती} = \frac{1}{\text{नाभीय अंतर}}$$

$$w (\text{Power of a lense}) = \frac{1}{f} \text{ मीटरमध्ये } \frac{1}{f} = D \text{ हे डायॉप्टर मध्ये.}$$

भिंणे एकाच पदार्थापासून जर बनवलेली असतील, तर फुगीर भिंगाची शक्ती जास्त व पातळ भिंगाची शक्ती कमी.

भिंगांच्या शक्तीच्या तुलनेसाठी समजा, एक बहिर्वक्र व एक अंतर्वक्र भिंग दिले असेल, तर कोणाची शक्ती जास्त हे समजणे सोपे आहे. एक अंतर्वक्र व एक बहिर्वक्र भिंग एकत्र करा व त्यातून पलीकडे पाहा. अशा वेळी एकूण बहिर्वक्र भिंगाचा प्रभाव जास्त असेल तर बहिर्वक्र भिंग जास्त शक्तिमान. जर पलीकडील वस्तू लहान व सरळ दिसू लागल्या तर अंतर्वक्र भिंग प्रभावी म्हणजेच त्याची शक्ती बहिर्वक्रपेक्षा जास्त. जर ती दोन भिंगे आपण एकत्र केलेल्या स्थितीतून पाहताना जर काहीच फरक

जाणवला नाही, तर दोघांचीही शक्ती सारखीच.

गोलीय आरसे व भिंगे यांतील पदार्थाचे आरशापासूनचे किंवा भिंगापासूनचे अंतर जर (u) मानले, तसेच प्रतिमेचे आरशापासून किंवा भिंगापासूनचे अंतर (v) मानले, तर नाभीय अंतराची किंमत (f) ही पुढील सूत्राने मिळते.

$$f = \frac{uv}{u + v}$$

अंतर्वक्र आरशात f ची किंमत धन (+ve) धरली जाते आणि बहिर्वक्र आरशात f ची किंमत ऋण (-ve) धरली जाते.

आरसा किंवा भिंग असले तरी आंतरराष्ट्रीय संकेतानुसार पदार्थ भिंगाच्या किंवा आरशाच्या डाव्या बाजूला असणे आवश्यक आहे. बहिर्वक्र भिंगाचे नाभीय अंतर धन, तर अंतर्वक्र भिंगाचे नाभीय अंतर ऋण असते.